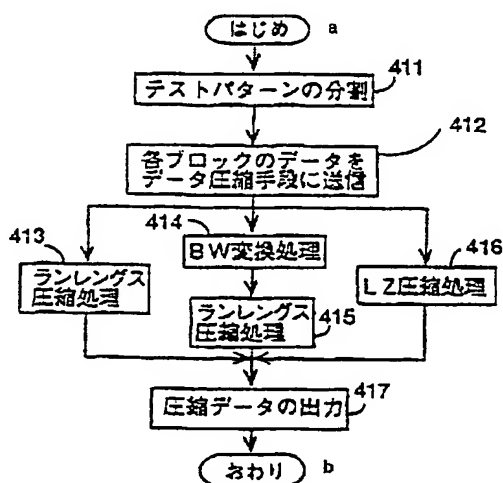




(51) 国際特許分類6 H03M 7/30, 7/46, G01R 31/3183	A1	(11) 国際公開番号 WO98/43359  (43) 国際公開日 1998年10月1日(01.10.98)
(21) 国際出願番号 PCT/JP98/01273  (22) 国際出願日 1998年3月24日(24.03.98)  (30) 優先権データ 特願平9/70293 1997年3月24日(24.03.97) JP 特願平9/90225 1997年3月24日(24.03.97) JP  (71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 アドバンテスト (ADVANTEST CORPORATION)[JP/JP] 〒179-0071 東京都練馬区旭町一丁目32番1号 Tokyo, (JP) (72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてののみ) 石田雅裕 (ISHIDA, Masahiro)[JP/JP] 山口隆弘 (YAMAGUCHI, Takahiro)[JP/JP] ティルグナー マルコ (TILGNER, Marco)[DE/JP] 〒989-3124 宮城県仙台市青葉区上愛子字松原48番2 Miyagi, (JP) (74) 代理人 弁理士 草野 卓, 外(KUSANO, Takashi et al.) 〒160-0022 東京都新宿区新宿四丁目2番21号 相模ビル Tokyo, (JP)		(81) 指定国 IL, JP, KR, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  添付公開書類 国際調査報告書

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR COMPRESSING AND EXPANDING DATA PATTERN

(54) 発明の名称 データパターンの圧縮及び伸張方法並びに圧縮及び伸張装置



a ... Start  
 411 ... Division of test pattern  
 412 ... Transmission of data of each block to data compressing means  
 413 ... Compression by run-length compressing method  
 414 ... BW conversion  
 415 ... Compression by run-length compressing method  
 416 ... Compression by LZ compressing method  
 417 ... Output of compressed data  
 b ... End

(57) Abstract

A method by which a test pattern to be applied onto an IC for testing can be compressed efficiently. The method comprises determining the number  $\phi$  of data transitions of the pattern at every pin of the IC and the entropy  $H$  of the data, distributing the test pattern among a block wherein the  $\phi$  is smaller than a threshold  $\phi_M$  ( $\phi < \phi_M$ ), a block wherein the  $\phi$  is larger than the threshold  $\phi_M$  ( $\phi > \phi_M$ ) and the  $H$  is larger than a threshold  $H_M$  ( $H < H_M$ ), and a block wherein the  $H$  is larger than the threshold  $H_M$  ( $H > H_M$ ) (411), compressing the block wherein  $\phi < \phi_M$  by the run-length compressing method, compressing the block wherein  $\phi > \phi_M$  and  $H < H_M$  by the run-length compressing method after Burrows Wheeler conversion, and compressing the block wherein  $H > H_M$  by the LZ compressing method.

(57)要約

試験するためにICに印加するテストパターンを効率よく圧縮する方法を提供する。ICの各ピン毎のパターンのデータ遷移回数 $\phi$ 、データのエントロピーHを求め、テストパターンを、 $\phi$ がしきい値 $\phi_M$ 以下( $\phi < \phi_M$ )のブロックと、 $\phi > \phi_M$ で、かつHがしきい値 $H_M$ 以下( $H < H_M$ )のブロックと、 $H > H_M$ のブロックの何れかに分配し(411)、 $\phi < \phi_M$ のブロックはランレングス圧縮法で圧縮し、 $\phi > \phi_M$ で、かつ $H < H_M$ のブロックはBurrows Wheeler変換後、ランレングス圧縮法で圧縮し、 $H > H_M$ のブロックはLZ圧縮法で圧縮する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AL	アルバニア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SK	スロヴァキア
AM	アルメニア	FR	フランス	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ
AT	オーストリア	GA	ガボン	LT	リトアニア	SN	セネガル
AU	オーストラリア	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
AZ	アゼルバイジャン	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	TD	チャド
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GE	グルジア	MC	モナコ	TG	トーゴ
BB	バルバドス	GH	ガーナ	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BE	ベルギー	GM	ガンビア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BF	ブルキナ・ファソ	GN	ギニア	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR	トルコ
BG	ブルガリア	GW	ギニア・ビサウ		共和国	TT	トリニダード・トバゴ
BJ	ベナン	GR	ギリシャ	ML	マリ	UA	ウクライナ
BR	ブラジル	HR	クロアチア	MN	モンゴル	UG	ウガンダ
BY	ベラルーシ	HU	ハンガリー	MR	モーリタニア	US	米国
CA	カナダ	ID	インドネシア	MW	マラウイ	UZ	ウズベキスタン
CC	中央アフリカ	IE	アイルランド	MX	メキシコ	VN	ヴェトナム
CG	コンゴ	IL	イスラエル	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラビア
CH	スイス	IS	アイスランド	NL	オランダ	ZW	ジンバブエ
CI	コートジボワール	IT	イタリア	NO	ノルウェー		
CM	カメルーン	JP	日本	NZ	ニュージーランド		
CN	中国	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CU	キューバ	KG	キルギスタン	PT	ポルトガル		
CY	キプロス	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
CZ	チェコ	KR	韓国	RU	ロシア		
DE	ドイツ	KZ	カザフスタン	SD	スーダン		
DK	デンマーク	LC	セントルシア	SE	スウェーデン		
EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール		
ES	スペイン	LK	スリランカ	SI	スロベニア		

## 明 細 書

## データパターンの圧縮及び伸張方法並びに圧縮及び伸張装置

技術分野

この発明は、例えば半導体集積回路（ＩＣ）を試験するために使用されるテストパターンのようなデータパターンの圧縮方法、伸張方法、圧縮装置、及び伸張装置、並びに、大規模半導体集積回路（ＬＳＩ）を試験するために使用されるテストパターンを大規模半導体集積回路（以下、ＬＳＩと称す）のピン単位で圧縮し、伸張するテストパターンの圧縮方法、伸張方法、圧縮装置、及び伸張装置に関する。

背景技術

半導体集積回路（以下、ＩＣと称す）を試験するＩＣ試験装置（一般にＩＣテストと呼ばれる）においては、試験すべきＩＣ（被試験ＩＣ）に印加するテストパターンは膨大なデータ量となるため、この膨大なテストパターンデータを圧縮して送信し、受信側で圧縮されたテストパターンデータを伸張して元のテストパターンデータに復元し、被試験ＩＣに印加している。テストパターンや他の膨大なデータパターンを圧縮する方法として、従来より、辞書を用いるLempel Zivのアルゴリズム（ＬＺ圧縮法）や、データの統計的性質を利用するHuffmanのアルゴリズム（Huffman圧縮法）、或いはそれらの種々の変形圧縮法がデータ圧縮装置において使用されている。これら方法は単一の圧縮方法であり、上記データ圧縮装置はこの単一の圧縮方法を、圧縮対象となるすべてのデータパターンに適用して、これらデータパターンの圧縮を行なっている。

しかしながら、テストパターンのようなデータパターンはデータ構造や統計的性質がかなり異なっているため、目的となるデータパターンの構造によっては、効率的な圧縮はできなかった。例えば、同一データパターン内の異なる部分でパターンの構造或いは統計的な性質が大きく異なるときには、特定部分では高い圧縮効率を得られるが、残りの部分では圧縮の効率が低くなる。その結果データパ

## 2

ターン全体では相対的に低い圧縮率となってしまう。また、処理時間についても、データパターンの構造によって処理時間が異なるため、最適な処理時間が得られていなかった。

この点からテストパターンをデータの構造或いは統計的性質の異なる部分毎にブロックに分割し、分割されたそれぞれのブロックに対して、適切な圧縮手法を適用し、データを圧縮することが提案されている。

しかしながら、この方法は目的となるテストパターンをブロック単位で圧縮するため、データの伸張もブロック単位で行なう必要がある。このため、この圧縮手法では、圧縮されたテストパターンをリアルタイムに伸張することが不可能である。

さらに、インテル(Intel)社のマイクロプロセッサを例に挙げると、1971年の4004では16ピン、1982年の80286では68ピン、1985年の80386では132ピン、1989年の80486では168ピン、1993年のPentiumでは296ピン、1995年のPentiumProでは387ピン、というように、ICの集積度が向上するにつれてピン数も年々増え続けている。このためICの自動テストシステム(ATE)も、試験装置のハードウェアをピンに対応させた方式(パービン方式)へとシフトしている。これは、パービンのアーキテクチャであれば増加するピン数に対して柔軟に対応することが可能であるからである。

上に述べたテストパターンの問題を解決するためには、テストパターンをピン毎のデータに分割して取り扱うパービンの圧縮器及び伸張器が必要となる。パービンのアーキテクチャは、(a)各ピンに対応したテストデータを同時にダウンロードできるため、圧縮されているテストパターンを自動テストシステムの内部メモリへダウンロードする時間を短縮できる、(b)圧縮器及び伸張器のマネジメントが簡単になるため、ICのピンの数の増加に対して柔軟に対応できる、などの利点を持つ。

従来のICの自動テストシステム(以下、ATEと称す)は、ICを試験するためのテストパターンをパターンジェネレータ(パターン発生器)に保持している。このため、テストパターンを保存しているディスク装置から、テストパター



ンデータをA T Eのパターンジェネレータにダウンロードするのに、非常に長い時間を必要としていた。例えば、1 Gbyte（ギガバイト）程度のテストパターンをダウンロードするのに、ネットワークを介した場合には約1時間程度の時間が必要であった。このため、テストパターンのダウンロード時間を短縮してA T Eの稼働率を向上させることが重要な課題となっている。

#### 発明の開示

この発明の1つの目的は、構造の相違する部分、或いは統計的性質の異なる部分を持つデータパターンを、それらと対応させて複数のブロックに分割し、それぞれのブロックに対し最適な圧縮手法を適用することによって、圧縮の対象となるデータを効率よく圧縮することができるテストパターンの圧縮方法を提供することである。

この発明の他の目的は、複数のブロックに分割された圧縮データを、それぞれのブロックから、情報損失なく、元のデータパターンに復元できるデータパターンの伸張方法を提供することである。

この発明のさらに他の目的は、テストパターンを半導体集積回路の各ピンに対するテストシーケンス毎に分割し、各テストシーケンスに対し、データの構造或いは統計的性質を測定することにより、最適な圧縮手法を適用することによって、圧縮の対象となるテストパターンを効率よく圧縮できるテストパターン圧縮方法及び圧縮装置を提供することである。

この発明のさらに他の目的は、上記圧縮方法或いは圧縮装置によって生成された半導体集積回路のピン毎の圧縮データから、情報損失なく、元のテストパターンデータにピン単位でリアルタイムに復元できるテストパターン伸張方法及び伸張装置を提供することである。

この発明のさらに他の目的は、複数のブロックに分割したデータパターンを、それぞれのブロックに対して最適な圧縮手法を適用して圧縮し、これら複数のブロックに分割された圧縮データを、それぞれのブロックから、情報損失なく、元のデータパターンに復元できるデータパターンの圧縮方法及び伸張方法を提供することである。

この発明のさらに他の目的は、上記テストパターンの圧縮及び／又は伸張装置を使用してテストパターンのダウンロード時間を短縮した半導体集積回路の自動テストシステムを提供することである。

この発明によるデータパターン圧縮方法は、入力した冗長性のあるデータ、例えばテストパターンデータを、被試験集積回路の各ピン毎に対応に対して圧縮を行なう圧縮方法において、データの構造或いは統計的な性質に応じて各入力データパターンの複数のブロックの何れかに分配分割を行なう分割ステップと、各ブロックに対して適切な圧縮方法を適用する圧縮ステップを具備することを特徴とし、これによって全データに対し適切な圧縮を得ることを可能にする。

この発明によるデータパターン伸張方法は、上記データパターン圧縮方法で生成された圧縮データに対して伸張を行なう際に、圧縮データの構造に応じて圧縮データを複数のブロックに分割する分割ステップと、それぞれのブロックに対して適切な伸張方法を適用する伸張ステップとを具備し、これによって上記圧縮データを、情報の損失なく、元のデータパターンに復元することを可能にするものである。

好ましい一実施例のデータパターン圧縮方法においては、上記分割ステップはブロック分割のためのデータ遷移回数のしきい値を計算するステップと、入力データの遷移回数を計数するステップと、しきい値と実際のデータの遷移回数とを比較するステップと、比較の結果に応じて複数のブロックの何れかに分配するステップとを含むことを特徴とし、これによって入力されたデータパターンを適切なブロックに分割することを可能にする。

好ましい他の実施例のデータパターン圧縮方法においては、上記分割ステップはブロック分割のためのエントロピーのしきい値を計算するステップと、入力データにおける記号の出現確率を計測し、記号の出現確率からデータのエントロピーを計算するステップと、しきい値と実際のデータのエントロピーとを比較するステップと、比較の結果に応じて複数のブロックの何れかに分配するステップとを含むことを特徴とし、これによって入力されたデータパターンを適切なブロックに分割することを可能にする。

好ましいさらに他の実施例のデータパターン圧縮方法においては、上記分割ス

## 5

テップは、上記入力データパターンに対して、データの遷移回数を計数し、データの遷移回数に応じて入力データのブロック分割を行なうステップであり、遷移回数がしきい値より小であるブロックに対して上記圧縮ステップでランレングス圧縮法を適用し、他のブロックに対してはそれぞれ適切な圧縮手法を適用することを特徴とし、これによって全データに対し適切な圧縮を得る。

好ましい一実施例のデータパターン伸張方法においては、圧縮データの伸張を行なう上記分割ステップは、圧縮データをランレングス圧縮法で圧縮されたデータ及びその他複数の圧縮法で圧縮されたデータに分割し、分割されたランレングス圧縮データは上記伸張ステップでランレングス伸張されることを特徴とし、これによって上記圧縮データを情報損失なく、元のデータパターンに復元する。

好ましいさらに他の実施例のデータパターン伸張方法においては、上記分割ステップで分割されたブロック中のデータの周期性が大であるブロックに対してブrouws ウィーラー (Burrows Wheeler) 変換 (以下、BW変換と称す) を少くとも1回行なうステップを含み、BW変換されたデータに対しては上記圧縮ステップでランレングス圧縮法を適用し、他のブロックに対してはそれぞれ適切な圧縮手法を適用することを特徴とし、これによって全データに対して適切な圧縮を得る。

好ましい他の実施例のデータパターン伸張方法においては、上記圧縮データの伸張を行なう上記分割ステップは、圧縮データをBW変換の後にランレングス圧縮法で圧縮されたデータと、その他の圧縮法で圧縮されたデータとに分割し、上記BW変換後、ランレングス圧縮された部分は上記伸張ステップでランレングス伸張し、その後、BW変換回数だけBW逆変換することを特徴とし、これによって上記圧縮データを情報損失なく、元のデータパターンに復元する。

好ましいさらに他の実施例のデータパターン圧縮方法においては、上記分割ステップで分割されたブロック中のエントロピーがしきい値より小であるブロックに対して上記圧縮ステップでHuffman圧縮法を適用し、他のブロックに対してはそれぞれ適切な圧縮手法を適用することを特徴とし、これによって全データに対し適切な圧縮を得ることを可能にする。

好ましいさらに他の実施例のデータパターン伸張方法においては、圧縮データ

をHuffman圧縮法で圧縮されたデータと、その他の圧縮法で圧縮されたデータとに分割し、上記伸張ステップでHuffman圧縮法で圧縮されたデータに対してはHuffman伸張法を適用することを特徴とし、これによって上記圧縮データを情報損失なく、元のデータパターンに復元することを可能にする。

好ましいさらに他の実施例のデータパターン圧縮方法においては、分割されたブロック中のエントロピーが小であるブロックに対して圧縮ステップでLZ圧縮法を適用し、他のブロックに対してはそれぞれ最適な圧縮手法を適用することを特徴とし、これによって全データに対し適切な圧縮を得ることを可能にする。

好ましいさらに他の実施例のデータパターン伸張方法においては、上記分割ステップは圧縮データをLZ圧縮法で圧縮されたデータと、その他の圧縮法で圧縮されたデータとに分割し、上記伸張ステップで、LZ圧縮法で圧縮されたデータに対してはLZ伸張法を適用することを特徴とし、これによって上記圧縮データを情報損失なく、元のデータパターンに復元することを可能にする。

好ましいさらに他の実施例のデータパターン圧縮方法においては、分割されたブロック中のエントロピーが小であるブロックに対して圧縮ステップで算術符号化圧縮法を適用し、他のブロックに対してはそれぞれ適切な圧縮手法を適用することを特徴とし、これによって全データに対し最適な圧縮を得ることを可能にする。

好ましいさらに他の実施例のデータパターン伸張方法においては、上記分割ステップで圧縮データを算術符号化圧縮法で圧縮されたデータと、その他の圧縮法で圧縮されたデータとに分割し、上記伸張ステップで算術符号化圧縮法で圧縮されたデータに対しては算術符号化伸張法を適用することを特徴とし、これによって上記圧縮データを情報損失なく、元のデータパターンに復元することを可能にする。

好ましいさらに他の実施例のデータパターン圧縮方法においては、上記分割ステップは、適切なブロック分割のための環境パラメータを入力するステップと、入力された環境パラメータを用いてブロック分割のためのデータ遷移回数のしきい値を計算するステップとを含み、これによって最適なブロック分割を可能にする。

好ましいさらに他の実施例のデータパターン圧縮方法においては、上記分割ステップは、適切なブロック分割のための環境パラメータを入力するステップと、入力された環境パラメータを用いてブロック分割のためのエントロピーのしきい値を計算するステップとを含む。

好ましいさらに他の実施例のデータパターン圧縮方法においては、ブロック分割のためのデータ遷移回数のしきい値を計算するステップと、計算されたしきい値を用いて入力データの圧縮率を見積もり、圧縮率が最大となるようにしきい値の最適化を行なうステップとを含み、その最適化されたしきい値を上記分割ステップに用い、これによって最適なブロック分割を可能にする。

好ましいさらに他の実施例のデータパターン圧縮方法においては、ブロック分割のためのエントロピーのしきい値を計算するステップと、計算されたしきい値を用いて入力データの圧縮率を見積もり、圧縮率が最大となるようにしきい値の最適化を行なうステップとを有し、その最適化されたしきい値を上記分割ステップに用いることを特徴とし、これによって最適なブロック分割を可能にする。

この発明のテストパターン圧縮装置は、入力されたテストパターンを被試験集積回路の各ピン毎のテストシーケンスに分割する分割手段と、各テストシーケンスのデータの構造に応じて適切な圧縮手法を選択してテストシーケンスをピン毎に圧縮するテストシーケンス圧縮手段とを具備することを特徴とし、これによって全データに対し最大の圧縮率を得ることを可能にする。テストパターンを入力し、ピン毎に圧縮されたデータをまとめて出力する、或いは圧縮された順番に出力することができる。

好ましいさらに他の実施例のテストパターン圧縮方法においては、入力されたテストパターンを集積回路の各ピン毎のテストシーケンスに分割するステップと、各テストシーケンスのデータの構造に応じて適切な圧縮手法を選択してテストシーケンスをピン毎に圧縮するステップとを具備する。

好ましい他の実施例のテストパターン圧縮装置においては、前記テストシーケンス圧縮手段はピン毎に設けられ、これらが並列に動作し、圧縮されたデータが並列に出力される。

好ましいさらに他の実施例のテストパターン圧縮方法においては、各ピン毎に

分割されたテストシーケンスを並列に、前記圧縮ステップを実行する。高速かつ高効率の圧縮を可能とする。

この発明のテストパターン伸張装置は、入力された圧縮データを被試験集積回路の各ピン毎の圧縮データに分割する圧縮データ分割手段と、それぞれの分割された圧縮データに対してその圧縮手法を示すフラグに応じて選択し、適用するテストシーケンス伸張手段とを具備する。

好ましいさらに他の実施例のテストパターン伸張方法においては、入力された圧縮データを集積回路の各ピン毎の圧縮データに分割するステップと、それぞれの分割された圧縮データの圧縮手法を示すフラグに応じて適切な伸張方法を選択し適用するステップとを具備する。

この発明のテストパターン伸張装置は、上記テストシーケンス伸張手段を各ピン毎に備え、これらが並列動作することを特徴とする。

好ましいさらに他の実施例のテストパターン伸張方法においては、前記伸張ステップを各ピン毎に並列的に行う。

この発明のテストパターン圧縮装置における前記のテストシーケンス圧縮手段は、入力されたテストシーケンスに対して適応する適切な圧縮手法を決定する圧縮手法決定手段と、テストシーケンスに対しランレングス圧縮手法を用いて圧縮を行なうランレングス圧縮手段と、テストシーケンスに対しBW変換手段で1回以上BW変換を適用した後、ランレングス圧縮を適用するBWTランレングス圧縮手段とを具備する。

このテストパターン圧縮装置は、圧縮手段として、さらに他の圧縮手法の圧縮手段としてLZ圧縮法、Huffman圧縮法、算術符号化圧縮法などを用いる手段も設けられる。

この発明のテストパターン圧縮方法は、前記のテストシーケンス圧縮ステップにおいて、入力されたテストシーケンスに対して適用する適切な圧縮手法を決定するステップと、ランレングス圧縮手法、或いはBW変換を1回以上適用した後、ランレングス圧縮手法（以下、BWTランレングス圧縮手法という）、或いは他の圧縮法（LZ圧縮法、Huffman圧縮法、算術符号化圧縮法など）のうちのどれか1つを適用してテストシーケンスの圧縮を行なうステップとを具備する。

この発明のテストパターン伸張装置における前記のテストシーケンス伸張装置は、圧縮データがランレングス圧縮手法で圧縮されたデータであるか、BWTランレングス圧縮手法で圧縮されたデータであるか、LZ圧縮手法などの他の圧縮手法で圧縮されたデータであるかを判定する圧縮手法判定手段と、圧縮データに対して、ランレングス伸張手法を用いて伸張を行なうランレングス伸張手段と、ランレングス伸張手段で伸張されたデータに対して逆BW変換を1回以上適用してデータの変換を行なう繰り返し逆BW変換手段と、圧縮データに対して前記他の圧縮法に対応した伸張手法を用いて伸張を行なう他の伸張手段とを具備する。

この発明のテストパターン伸張方法は、前記のテストシーケンス伸張ステップにおいて、圧縮データがランレングス圧縮手法で圧縮されたデータであるか、BWTランレングス圧縮手法で圧縮されたデータであるか、LZ圧縮手法など他の圧縮手法で圧縮されたデータであるかを判定するステップと、圧縮データに対して圧縮された手法に対応する適切な伸張方法を選択し適用するステップとを具備する。

この発明のテストパターン圧縮装置における圧縮手法決定手段は、テストシーケンスに対しBW変換を適用する場合の適切な適用回数を計算するBW変換最適化手段と、圧縮率のしきい値を格納しているしきい値記憶手段と、BW変換最適化手段から得られた圧縮率の最大値としきい値記憶手段のしきい値とを比較する圧縮率比較手段と、圧縮率比較手段から得られた比較の結果及びBW変換最適化手段から得られたBW変換の最適な適用回数に応じてランレングス圧縮手法で圧縮するか、或いは、BWTランレングス圧縮手法で圧縮するか、或いは、LZ圧縮手法など他の圧縮手法で圧縮するかを選択する圧縮手法選択手段とを具備する。

前記の圧縮手法決定手段におけるBW変換最適化手段はテストシーケンスに対しBW変換を適用するステップと、BW変換されたデータの遷移回数を測定するステップと、遷移回数から圧縮率を計算するステップと、圧縮率の最大値及び圧縮率が最大となるBW変換の回数を求めるステップよりなる。

前記この発明のテストパターン圧縮装置及びテストパターン伸張装置を用いた半導体集積回路自動テストシステムは、圧縮されたテストパターンデータを保存するための大容量記憶装置（例えばディスク装置）と、テストパターンデータを

格納し、テストパターンを発生するパターンジェネレータと、圧縮されたテストパターンデータを情報の損失なく完全に元のテストパターンに復元するテストパターン伸張手段とを有し、テストパターンのダウンロード時間を短縮することを可能にする。

半導体集積回路自動テストシステムとしては、圧縮されたテストパターンデータを保存するための大容量記憶装置（例えばディスク装置）と、テストパターンデータを格納しテストパターンを発生するパターンジェネレータと、各ピン毎に圧縮されたテストシーケンスデータを、各ピンに対して並列に情報の損失なく完全に元のテストパターンに復元する複数のテストシーケンス伸張手段とを備える。

#### 図面の簡単な説明

図 1 はこの発明の第 1 及び第 2 の実施例においてそれぞれ用いられるテストパターンの一例を示す図である。

図 2 はこの発明の第 1 の実施例において使用されるテストパターン圧縮装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

図 3 はこの発明の第 1 の実施例のテストパターン圧縮方法を説明するためのフローチャートである。

図 4 はこの発明の第 1 の実施例において使用されるテストパターン伸張装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

図 5 はこの発明の第 1 の実施例のテストパターン伸張方法を説明するためのフローチャートである。

図 6 は図 2 に示すテストパターン圧縮装置中のテストパターン分割手段の機能構成の一例を示すブロック図である。

図 7 は図 6 に示すテストパターン分割手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 8 はテストパターン、遷移回数しきい値、各ピンの遷移回数、及び分割結果のブロックの各例をそれぞれ示す図である。

図 9 は図 2 に示すテストパターン圧縮装置中のテストパターン分割手段の他の機能構成例を示すブロック図である。



図10は図9に示すテストパターン分割手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図11は図10の処理手順におけるテストパターン、しきい値、入力データのエントロピー、及び分割結果のブロックの各例をそれぞれ示す図である。

図12はテストパターン圧縮装置の具体的機能の構成例を示すブロック図である。

図13はランレングス圧縮方法の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図14は図12に示すテストパターン圧縮装置と対応するテストパターン伸張装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

図15はランレングス伸張方法の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図16はテストパターン圧縮装置の他の具体的機能の構成例を示すブロック図である。

図17はBW変換方法の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図18は図16に示すテストパターン圧縮装置と対応するテストパターン伸張装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

図19はBW逆変換方法の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図20はテストパターン圧縮装置のさらに他の具体的機能の構成例を示すブロック図である。

図21はHuffman圧縮方法の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図22は図21に示すテストパターン圧縮装置と対応するテストパターン伸張装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

図23はHuffman伸張方法の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図24はテストパターン圧縮装置のさらに他の具体的機能の構成例を示すブロック図である。

図25はLZ圧縮方法の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図26は図24に示すテストパターン圧縮装置と対応するテストパターン伸張装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

図 27 は L Z 伸張方法の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 28 はテストパターン圧縮装置のさらに他の具体的機能の構成例を示すブロック図である。

図 29 は算術符号化圧縮方法の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 30 は図 28 に示すテストパターン圧縮装置と対応するテストパターン伸張装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

図 31 は算術符号化伸張方法の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 32 は図 2 に示すテストパターン圧縮装置中のテストパターン分割手段のさらに他の具体的機能の構成例を示すブロック図である。

図 33 は図 32 に示すテストパターン分割手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 34 は図 2 に示すテストパターン圧縮装置中のテストパターン分割手段のさらに他の具体的機能の構成例を示すブロック図である。

図 35 は図 34 に示すテストパターン分割手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 36 は図 2 に示すテストパターン圧縮装置中のテストパターン分割手段のさらに他の具体的機能の構成例を示すブロック図である。

図 37 は図 36 に示すテストパターン分割手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 38 は図 2 に示すテストパターン圧縮装置中のテストパターン分割手段のさらに他の具体的機能の構成例を示すブロック図である。

図 39 は図 38 に示すテストパターン分割手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 40 はテストパターン圧縮装置のさらに他の具体的機能の構成例を示すブロック図である。

図 41 は図 40 に示すテストパターン圧縮装置の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 4 2 は図 4 0 に示すテストパターン圧縮装置と対応するテストパターン伸張装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

図 4 3 は図 4 2 に示すテストパターン伸張装置の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 4 4 は図 4 0 に示すテストパターン圧縮装置中のテストパターン分割手段の具体的機能の構成例を示すブロック図である。

図 4 5 は図 4 4 に示すテストパターン分割手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 4 6 は図 4 0 に示すテストパターン圧縮装置中のテストパターン分割手段の他の具体的機能の構成例を示すブロック図である。

図 4 7 は図 4 6 に示すテストパターン分割手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 4 8 はテストパターン圧縮装置のさらに他の具体的機能の構成例を示すブロック図である。

図 4 9 は図 4 8 に示すテストパターン圧縮装置の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 5 0 は図 4 8 に示すテストパターン圧縮装置中の繰り返しBW変換手段の機能構成の一例を示すブロック図である。

図 5 1 は図 5 0 に示す繰り返しBW変換手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 5 2 は図 4 8 に示すテストパターン圧縮装置中のBW変換手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 5 3 はBW変換で用いられる循環文字列の一例を示す図である。

図 5 4 はBW変換で用いられる循環文字列のソート例を示す図である。

図 5 5 はBW変換における出力データの一例を示す図である。

図 5 6 はテストパターン伸張装置のさらに他の機能構成例を示すブロック図である。

図 5 7 は図 5 6 に示すテストパターン伸張装置の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図58は図56に示すテストパターン伸張装置中の繰り返し逆BW変換手段の機能構成例を示すブロック図である。

図59は図58に示す繰り返し逆BW変換手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図60は図56に示すテストパターン伸張装置中の逆BW変換手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図61は逆BW変換における文字列Lと文字列Fとの対応の一例を示す図である。

図62は逆BW変換における文字列Sの復元例を示す図である。

図63は図48に示すテストパターン圧縮装置中の圧縮手法決定手段の機能構成の一例を示すブロック図である。

図64は図63に示す圧縮手法決定手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図65はこの発明の第2の実施例の1入力1出力のテストパターン圧縮装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

図66はこの発明の第2の実施例のテストパターン圧縮方法を説明するためのフローチャートである。

図67はこの発明の第2の実施例の1入力1出力のテストパターン圧縮装置の機能構成の変形例を示すブロック図である。

図68はこの発明の第2の実施例のテストパターン圧縮方法の変形例を説明するためのフローチャートである。

図69はこの発明の第2の実施例の1入力多出力テストパターン圧縮装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

図70はこの発明の第2の実施例のテストパターン圧縮方法を説明するためのフローチャートである。

図71はこの発明の第2の実施例の1入力1出力のテストパターン伸張装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

図72はこの発明の第2の実施例のテストパターン伸張方法を説明するためのフローチャートである。

図7 3はこの発明の第2の実施例の1入力1出力のテストパターン伸張装置の機能構成の変形例を示すブロック図である。

図7 4はこの発明の第2の実施例のテストパターン伸張方法の変形例を説明するためのフローチャートである。

図7 5はこの発明の第2の実施例の1入力多出力のテストパターン伸張装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

図7 6はこの発明の第2の実施例のテストパターン伸張方法を説明するためのフローチャートである。

図7 7はこの発明の第2の実施例の多入力1出力のテストパターン伸張装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

図7 8はこの発明の第2の実施例のテストパターン伸張方法を説明するためのフローチャートである。

図7 9はこの発明の第2の実施例の多入力1出力のテストパターン伸張装置の機能構成の変形例を示すブロック図である。

図8 0はこの発明の第2の実施例のテストパターン伸張方法の変形例を説明するためのフローチャートである。

図8 1は図6 5、図6 7、及び図6 9に示すテストパターン圧縮装置中のテストシーケンス圧縮手段の機能構成例を示すブロック図である。

図8 2は図8 1に示すテストシーケンス圧縮手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図8 3は図8 1に示すテストシーケンス圧縮手段中の繰り返しBW変換手段の機能構成の一例示すブロック図である。

図8 4は図8 3に示す繰り返しBW変換手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図8 5は図8 1に示すテストシーケンス圧縮手段中のランレングス圧縮手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図8 6は図8 1に示すテストシーケンス圧縮手段中のBW変換手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図8 7はBW変換で用いられる循環文字列の一例を示す図である。

図 8 8 は B W 変換で用いられる循環文字列のソート例を示す図である。

図 8 9 は B W 変換における出力データの一例を示す図である。

図 9 0 は図 8 1 に示すテストシーケンス圧縮手段中の L Z 圧縮手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 9 1 は図 7 1、図 7 3、図 7 5、及び図 7 7 に示すテストパターン伸張装置中のテストシーケンス伸張手段の機能構成例を示すブロック図である。

図 9 2 は図 9 1 に示すテストシーケンス伸張手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 9 3 は図 9 1 に示すテストシーケンス伸張手段中の繰り返し逆 B W 変換手段の機能構成の一例を示すブロック図である。

図 9 4 は図 9 3 に示す繰り返し逆 B W 変換手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 9 5 は図 9 1 に示すテストシーケンス伸張手段中のランレングス伸張手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 9 6 は図 9 1 に示すテストシーケンス伸張手段中の繰り返し逆 B W 変換手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 9 7 は逆 B W 変換における文字列 L と文字列 F との対応の一例を示す図である。

図 9 8 は逆 B W 変換における文字列 S の復元例を示す図である。

図 9 9 は図 9 1 に示すテストシーケンス伸張手段中の L Z 伸張手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 1 0 0 は図 8 1 に示すテストシーケンス圧縮手段中の圧縮手法決定手段の機能構成の一例を示すブロック図である。

図 1 0 1 は図 1 0 0 に示す圧縮手法決定手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図 1 0 2 はこの発明の第 2 の実施例の B W T ランレングス圧縮手段の機能構成の一例を示すブロック図である。

図 1 0 3 は図 1 0 2 に示す B W T ランレングス圧縮手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図104はこの発明の第2の実施例のBWTランレングス伸張手段の機能構成の一例を示すブロック図である。

図105は図104に示すBWTランレングス伸張手段の処理手順を説明するためのフローチャートである。

図106はこの発明を適用した半導体集積回路を自動的にテストする自動テストシステムの一構成を示すブロック図である。

図107はこの発明を適用した半導体集積回路を自動的にテストする自動テストシステムの他の構成を示すブロック図である。

図108は図106及び図107に示す自動テストシステム中に用いられる測定系の一構成を示すブロック図である。

図109はこの発明を適用した半導体集積回路を自動的にテストする自動テストシステムのさらに他の構成を示すブロック図である。

図110はこの発明を適用した半導体集積回路を自動的にテストする自動テストシステムのさらに他の構成を示すブロック図である。

図111は図109及び図110に示す自動テストシステム中に用いられる測定系の一構成を示すブロック図である。

図112はこの発明を適用した半導体集積回路を自動的にテストする自動テストシステムのさらに他の構成を示すブロック図である。

図113はこの発明を適用した半導体集積回路を自動的にテストする自動テストシステムのさらに他の構成を示すブロック図である。

図114はこの発明によるテストパターン圧縮装置の圧縮率に対する効果を示すグラフである。

図115はこの発明によるテストパターン伸張装置の伸張速度に対する効果を示すグラフである。

図116はこの発明によるBWTランレングス圧縮手段の圧縮率に対する効果を示すグラフである。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、この発明の実施例について添付図面を参照して詳細に説明する。なお、

以下においては説明を簡明にするために、試験するためにICに印加するテストパターンの圧縮とその伸張にこの発明を適用した事例について説明するが、この発明はICに印加するテストパターン以外の他のデータパターンの圧縮及び伸張にも適用できることは言うまでもない。

複雑なICを試験するためのテストパターンは、通常、IC内のある特定のモジュールを試験するために生成される。従って、テストパターンは、その特定モジュールに対応するICのある一定のピンに対するテストパターンのみが頻繁に遷移し、他の大部分のピンに対するテストパターンは殆ど遷移しないという特徴がある。

そこで、この発明の第1の面においては、例えば、テストパターンの遷移の回数など、入力テストパターンの構造や統計的性質に着目してテストパターンを関連するブロックに分割し、それぞれのブロックに対して適切な圧縮方法を適用することにより、効率のよい圧縮率を得ることができるようにしたものである。

図1はICに印加されるテストパターンの一例を示す。図1において、横方向（左右方向）がICのピンの配列方向であり、縦方向（上下方向）がテストパターンのシーケンス方向である。即ち、図1の例では、まず、パターン1がICのピン1からピン6に印加され、次に、パターン2、パターン3の順でテストパターンがICに印加される。また、テストパターンは1、0、Xの三つの記号で表わされ、1はハイ（高）レベルの信号、0はロー（低）レベルの信号を示し、Xはドントケア（d'not care）を示す。即ち、Xはハイレベル信号又はローレベル信号のどちらでもよく、ICの試験に影響を与えない信号であることを示す。

ブロック分割にランレングス圧縮法を用いた場合には、まず初めに、圧縮後のデータサイズを見積もることによって、テストパターン遷移回数のしきい値を計算する。次に、それぞれのピンに対するテストパターンの遷移回路を計数する。そして、この実際の遷移回数をしきい値と比較することによって、テストパターンを、その遷移回数がしきい値に対して小のブロックと大のブロックに分割して、遷移回数が小のブロックにはランレングス圧縮法を適用し、他のブロックにはそれぞれ他の適切な圧縮法を適用する。これによって、効率のよい圧縮を行なうことができるようにしたものである。



ランレングス圧縮法を用いた遷移回数のしきい値  $\phi_{\max}$  の見積もり計算には許容できる圧縮率の下限值  $\alpha$  を与え、次式を満たす最大の  $\phi_{\max}$  を求める。

$$\begin{aligned} \lceil \log_2 |A| \rceil \cdot M / \alpha \geq \phi_{\max} \lceil \log_2 \{ (|A| - 1) \cdot M \} \rceil \\ + \lceil \log_2 (\phi_{\max} + 2) \rceil \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $M$  は遷移回数を計算するテストパターンのシーケンスの長さ、 $|A|$  はテストパターンに出現する記号の集合の大きさである。

例えば、‘0’ ローレベル (Low Level) 信号、‘1’ ハイレベル (High Level) 信号、‘X’ ドントケア (Don't Care) の3つの信号で構成された、10000ピン、10000シーケンスのテストパターンの場合には、 $M = 10000$ 、 $|A| = 3$  となる。また、記号  $\lceil x \rceil$  は  $x$  以上の整数であり、かつ最小の整数であることを意味する。上記の方法で求められたしきい値と実際の遷移回数とを比較することによって、遷移回数の異なる複数のブロックを得ることができる。

また、入力データのエントロピーに着目した場合には、まず初めに、データ中に現れる記号の出現確率  $p_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) を計測し、次式を用いて入力データのエントロピー  $H$  を計算する。

$$H = - \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (2)$$

次に、圧縮後の圧縮率を見積もることによって、エントロピーのしきい値を計算する。例えば、しきい値の計算に Huffman のアルゴリズムを用いる場合には、エントロピーのしきい値  $H_{\max}$  は許容できる最少の圧縮率  $\alpha$  を与え、次式を満たす最大の  $H_{\max}$  を求める。

$$H_{\max} \leq \lceil \log_2 |A| \rceil / \alpha \quad (3)$$

このしきい値を実際のエントロピーと比較することによって、テストパターンを、エントロピーがしきい値に対して小のブロックと大のブロックに分割し、エントロピーが小のブロックには Huffman 圧縮法或いは算術符号化圧縮法を適用し、他のブロックにはそれぞれ他の適切な圧縮法を適用する。これによって、効率のよい圧縮を得ることができるようにしたものである。

また、この発明の第2の面においては、テストパターンを各ピンに対するテストシーケンス毎に分割し、パターンデータの遷移の回数など、入力テストパターンデータの構造や統計的性質に着目して、それぞれのテストシーケンスに対して

最適な圧縮方法を適用する。これによって、効率のよい圧縮率を得ることができるようにしたものである。

なお、図1に示すテストパターンにおいて、テストパターンの横一列をテストベクトルと呼び、縦一列をあるピンに対するテストシーケンスと呼ぶ。

テストシーケンスに対して適用する最適な圧縮手法を決定するとき、テストシーケンスをある指定された回数  $n = N$  だけBW変換し、0回からN回BW変換されたデータの遷移回数  $\phi_i$  ( $i = 0, 1, \dots, N$ ) をそれぞれ計測する。BW変換については、例えば Burrows M. and Wheeler D. "A Block-sorting Lossless, Data Compression Algorithm, SRC Research Report 124" Digital Systems Research Center, Palo Alto, CA, May, 1994 に記載されている。

ここで遷移回数は、データ列において、隣り合う2つのデータが0から1、1からXなどと変化する回数を表す。次に、BW変換されたデータをランレングス圧縮方法により圧縮したときの圧縮率を、データの遷移回数  $\phi_i$  から計算することによって、圧縮率の最大値  $R_{\max}$  と圧縮率が最大となるときのBW変換の適用回数  $m$  を取得する。

次に、得られた圧縮率の最大値  $R_{\max}$  を経験的に設定した圧縮率のしきい値  $R_{th}$  と比較し、圧縮率の最大値がしきい値以上であればテストシーケンスに対して  $m$  回BW変換した後、ランレングス圧縮手法を適用して圧縮する。ここで、BW変換の適用回数  $m$  が0である場合には、テストシーケンスに対してBW変換せず、ランレングス圧縮手法のみを適用して圧縮を行なう。圧縮率の最大値  $R_{\max}$  がしきい値  $R_{th}$  より小さい場合には、テストシーケンスに対してLZ圧縮方法のみを適用して圧縮する。このように、テストシーケンスに対して最適な圧縮方法を適用することによって、効率のよい圧縮を行なうことができる。

また、この発明においては、テストパターンを各ピンのテストシーケンスに分割するため、テストシーケンス毎の圧縮が可能となり、従って、各ピンに対して伸張装置を1つ用いることによってリアルタイムでテストパターンを伸張することができる。

データの遷移回数を用いて  $i$  回BW変換したデータをランレングス圧縮したときの圧縮率  $R_i$  を計算するには、遷移回数  $\phi_i$  及びBW変換の回数  $i$  を用いて、次

式から圧縮率  $R_i$  を求める。

$$R_i = \log_2 |A| \cdot L / [i \cdot (\log_2 L) + \phi_i \cdot [\log_2 \{(|A| - 1) \cdot L\}] + \log_2(L - 1) + \log_2 |A|] \quad (4)$$

ここで、 $L$  はテストシーケンスの長さ、 $|A|$  はテストパターンに出現する記号の集合の大きさである。

例えば、'0' ローレベル (Low Level) 信号、'1' ハイレベル (High Level) 信号、'X' ドントケア (Don't Care) の3つの信号で構成された 1 0 0 0 シーケンスのテストシーケンスの場合には、 $L = 1 0 0 0 0$ 、 $|A| = 3$  となる。また、記号  $[x]$  は  $x$  以上の最小の整数であることを意味する。

上記の方法で求められた圧縮率  $R_i$  ( $i = 0, 1, \dots, N$ ) から最大の圧縮率  $R_{\max}$  と圧縮率が最大となる BW 変換の回数  $m$  を取得し、 $R_{\max}$  としきい値  $R_{th}$  を比較することによって、最適な圧縮手法を決定することができる。

以上のように各テストシーケンスに対し、最適な圧縮手法で圧縮を行なうことができるため、テストパターン全体を効率よく圧縮することができる。従って、この発明による圧縮方法を用いてテストパターンのデータをより小さいデータに圧縮することにより、データの転送時間を短縮することができ、その結果、テストパターンのダウンロード時間を短縮することが可能となる。

上記ブロック分割方法のテストパターンへの適用例について、以下、具体例を示して詳細に説明する。

図2はこの発明の第1の実施例において使用されるテストパターン圧縮装置の機能構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン圧縮装置21は、入力されたテストパターンのデータの構造或いは統計的性質に応じてこのテストパターンを複数のブロックに分割するテストパターン分割手段22と、分割されたデータを圧縮する複数のデータ圧縮手段A23、B24、C25、...によって構成されている。

次に、このテストパターン圧縮装置21を使用してテストパターンの圧縮を行なう場合の動作を説明する。

図3はこの発明の第1の実施例によるテストパターン圧縮方法を説明するためのフローチャートである。図2のテストパターン圧縮装置21中のテストパター

ン分割手段22は、ステップ31において各ピン毎のテストパターンをデータの構造或いは統計的性質に応じて複数のブロックの何れかに所属させることにより分割する。

分割された各ブロックのデータパターンは、ステップ32において、それぞれのブロックに対し、最適な圧縮アルゴリズムをもつ複数のデータ圧縮手段A23、B24、C25、・・・にスイッチS1を通じて送信される。そして、ステップ33a、33b、33cにおいて各データパターンがデータ圧縮手段によって圧縮され、最後に、ステップ34で各圧縮データがスイッチS2を通じて出力される。

この場合データ圧縮手段A23の圧縮データの先頭にその圧縮法を示すフラグ1を、圧縮手段A23、B24の各圧縮データの先頭にそれぞれその圧縮法を示すフラグ2、3を付ける。また、各ピン対応のテストパターンが何れのピンに対応するかを示す、例えばピン番号をそれぞれ付けておく。

図4はこの発明の第1の実施例において使用されるテストパターン伸張装置の機能構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン伸張装置41は、伸張の対象となる圧縮データに対して圧縮手法の異なるデータに分類する圧縮データ分割手段42と、分類された圧縮データを情報損失なく、元のテストパターンに伸張する複数のデータ伸張手段A43、B44、C45、・・・とによって構成されている。ここで、データ伸張手段43、44、45、・・・はそれぞれテストパターン圧縮装置21内にある圧縮手段23、24、25、・・・と1対1で対応している。

次に、このテストパターン伸張装置41を使用して圧縮データの伸張を行なう場合の動作を説明する。図5はこの発明の第1の実施例のテストパターン伸張方法を説明するためのフローチャートである。

まず、ステップ51において、圧縮データ分割手段42が伸張対象の圧縮データを圧縮方法の異なるデータに分割する。この分割は例えば圧縮法を示すフラグ1、2、3によって行う。分割された圧縮データは、ステップ52においてそれぞれ適切なデータ伸張手段A43、B44、C45、・・・にスイッチS3を通じて送信される。つまり、フラグ1の圧縮データはデータ伸張手段43へ送られ、

フラグ 2、3 の圧縮データはデータ伸張手段 4 4、4 5 にそれぞれ送られる。送信されたデータは、ステップ 5 3 で各データ伸張手段によって情報損失なく、元のブロックに伸張される。最後に、ステップ 5 4 において、伸張された各ビンの毎のテストパターンがスイッチ S 4 を通じて出力される。

図 6 はこの発明の第 1 の実施例において使用されるテストパターン分割手段 2 2 の具体的機能構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン分割手段 2 2 は、ブロック分割のための環境パラメータを入力するパラメータ入力手段 6 2 と、入力された環境パラメータを格納するパラメータ記憶手段 6 3 と、パラメータ記憶手段 6 3 に格納された環境パラメータを用いてテストパターンをブロック分割するためのデータ遷移回数のしきい値を計算するしきい値計算手段 6 4 と、入力されたテストパターンの遷移回数を計数する遷移回数計数手段 6 5 と、データ遷移回数のしきい値と実際の遷移回数を比較する遷移回数比較手段 6 6 と、比較手段 6 6 の比較結果に応じて入力テストパターンを複数のブロックに分割するブロック分割手段 6 7 とによって構成されている。

次に、このテストパターン分割手段 2 2 を使用してテストパターンのブロック分割を行なう場合の動作を説明する。図 7 はこの発明の第 1 の実施例のテストパターン分割方法を説明するためのフローチャートである。また、図 8 は、このブロック分割方法をテストパターンに対して適用した例を示し、同図 (a) は以下の説明で用いられる入力テストパターン例である。ここで図 8 (a) に示すテストパターンにおいて、横方向 (図において左右方向) が集積回路のピンの方向であり、縦方向 (図において上下方向) がパターンのシーケンスの方向である。

まず、パラメータ入力手段 6 2 を用いてブロック分割のしきい値を計算するための環境パラメータ、つまり、遷移回数を計算するテストパターンのシーケンスの長さ  $M$ 、テストパターンに出現する記号の集合の大きさ  $|A|$ 、許容できる圧縮率の下限值  $\alpha$  を入力する。入力されたパラメータは、パラメータ記憶手段 6 3 に格納される。

次に、ステップ 7 2 において、しきい値計算手段 6 4 がパラメータ記憶手段 6 3 に格納されたパラメータを用いて入力テストパターンを複数のブロックに分割するためのパターンの遷移回数のしきい値を計算する。この計算には式 (1) が

用いられ、図8の例では、 $\alpha = 1$ とすると $M = 6$ 、 $|A| = 3$ より、同図(b)のようにしきい値 $\phi_{\max}$ は $\phi_{\max} = 2$ と求められる。

次に、ステップ73で、遷移回数計数手段65が入力されたテストパターンの各ピンに対するテストパターンの遷移回数を計数する。図8の例では、例えば、ピン1のパターン遷移は0回であり、ピン2のパターンは0からXに1回遷移するというように、同図(c)に示すように遷移回数は $\phi = [0\ 1\ 3\ 2\ 0\ 5]$ と得られる。しきい値計算手段64で計算されたしきい値 $\phi_{\max}$ と遷移回数計数手段65で得られた遷移回数 $\phi$ は遷移回数比較手段66に送られ、ステップ74において比較される。この比較の結果はブロック分割手段67に送られる。

次に、ステップ75、76において、ブロック分割手段67が各ピンのテストパターンデータをそれぞれの遷移回数に応じて複数のブロックに分割する、つまり、複数ブロックの何れかに分配所属させる。図8の例では、同図(d)のように、しきい値 $\phi_{\max}$ に対して遷移回数が $\phi_{\max}$ 以下のブロックと $\phi_{\max}$ より大きいブロックに分割される。最後に、ブロック分割手段67は、ステップ77で分割(分配)された各ブロックのデータ(パターン)を複数の圧縮手段の対応するものに送る。

図9はこの発明の第1の実施例において使用されるテストパターン分割手段22の他の具体的機能構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン分割手段22は、ブロック分割するための環境パラメータを入力するパラメータ入力手段92と、入力された環境パラメータを格納するパラメータ記憶手段93と、このパラメータ記憶手段93に格納された環境パラメータを用いて、テストパターンを分割するためのエントロピーのしきい値を計算するしきい値計算手段94と、入力データにおける記号の出現確率を計測し、その記号の出現確率からデータのエントロピーを計算するエントロピー計測手段95と、エントロピーのしきい値と実際のデータのエントロピーとを比較するエントロピー比較手段96と、この比較手段96の比較結果に応じて入力テストパターンを分割するブロック分割手段97とによって構成されている。

次に、このテストパターン分割手段22を使用してテストパターンのブロック分割を行なう場合の動作を説明する。図10はこの発明の第1の実施例のテスト

パターン分割方法を説明するためのフローチャートである。また、図11は、このブロック分割方法をテストパターンに対して適用した例を示し、同図(a)は以下の説明で用いられる入力テストパターン例である。ここで図11(a)のテストパターンにおいて、横方向(図において左右方向)がICのピンの方向であり、縦方向(図において上下方向)がパターンのシーケンスの方向である。

まず、ステップ101において、パラメータ入力手段92を用いてブロック分割のしきい値を計算するためのパラメータを入力し、パラメータ記憶手段93に格納する。次に、ステップ102において、しきい値計算手段94が入力されたテストパターンを複数のブロックに分割するためのエントロピーのしきい値を計算する。しきい値の計算には式(3)が用いられ、図11の例では、 $\alpha = 2$ とすると、 $|A| = 3$ より、同図(b)のようにしきい値 $H_{\max}$ は $H_{\max} = 1$ と求められる。

次に、ステップ103で、入力されたテストパターンにおける記号の出現確率を計測する。また、ステップ104においては、ステップ103で得られた確率から式(2)を用いて入力テストパターンのエントロピーを計算する。以上のステップ103、104はエントロピー計数手段95において行なわれる。図11の例では、例えば、ピン1の記号の出現確率 $p$ は $p(0) = 1$ 、 $p(1) = 0$ 、 $p(X) = 0$ であるため、エントロピーは式(2)より0と求められる。また、ピン2については、 $p(0) = 1/3$ 、 $p(1) = 0$ 、 $p(X) = 2/3$ であり、エントロピーは0.92と求められる。

同様に各ピンに対するエントロピー $H$ を計算すると、図11(c)のように $H = [0.0 \ 0.92 \ 1.46 \ 0.92 \ 0.0 \ 1.46]$ と求めることができる。しきい値計算手段94で計算されたしきい値 $H_{\max}$ とエントロピー計数手段95で得られたエントロピー $H$ はエントロピー比較手段96に送られ、ステップ105において比較される。

比較の結果はブロック分割手段97に送信される。次に、ステップ106、107において、ブロック分割手段97が各ピンのテストパターンデータをそれぞれのエントロピーに応じて複数のブロックに分割する。図11の例では、同図(d)のように、しきい値 $H_{\max}$ に対してエントロピーが $H_{\max}$ 以下のブロック

と $H_{\max}$ より大きいブロックとに分割される。最後にブロック分割手段97は、ステップ108で分割された各ブロックのデータを複数の圧縮手段の対応するものに送信する。

次に、この発明によるテストパターン圧縮及び伸張装置、並びにテストパターン分割手段22の変形例について説明する。

図12はこの発明の第1の実施例において、図2に示すテストパターン圧縮装置中のデータ圧縮手段の1つがランレングス圧縮手段である場合のテストパターン圧縮装置21の機能構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン圧縮装置21は、入力されたテストパターンデータの遷移回数を計数し、データの遷移回数に応じて入力データのブロック分割を行なうテストパターン分割手段122と、遷移回数が小である、つまり、しきい値以下のブロックに対してランレングス圧縮法を適用するランレングス圧縮手段123と、他のブロックに対してその他の手法、例えばLZ圧縮法、Huffman圧縮法などでデータを圧縮する少なくとも一つのデータ圧縮手段124、125、・・・とによって構成されている。

各圧縮手段123、124、・・・でそれぞれ圧縮されたデータの最初にその圧縮法を示すフラグが付けられる。

次に、ランレングス圧縮手段123を用いてデータの圧縮を行なう場合の動作について説明する。図13はランレングス圧縮方法の処理手順を説明するためのフローチャートであり、変形例1のランレングス圧縮方法を示している。

まず、ステップ131において、ランレングス符号を生成するための初期値とカウンタの設定を行なう。次に、ステップ132で入力データから1文字取得し、ステップ133で文字数をカウントする。ステップ134では取得した文字と初期値とを比較し、文字が初期値と等しければ、ステップ132、133を繰り返す。文字が初期値と異なっていれば、ステップ135においてこれまでのカウント数を初期値が連続した長さとして符号化する。ステップ136では入力データの残りを確認し、入力データが残っていれば、これまでのステップを繰り返し、入力データが残っていなければ、ステップ137で圧縮データを出力し、処理を終了する。



図14はこの発明の第1の実施例において、データ伸張手段の一つがランレングス伸張手段である場合のテストパターン伸張装置41の構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン伸張装置41は、伸張の対象となる圧縮データを、ランレングス圧縮法で圧縮されたデータ及びその他複数の圧縮法で圧縮されたデータとに、それぞれ圧縮法を示すフラグにより分割する圧縮データ分割手段142と、それぞれ分割された圧縮データを情報損失なく、元のテストパターンに伸張するランレングス伸張手段143と、少なくとも一つの他の手法、例えばLZ伸張法、Huffman伸張法などのデータ伸張手段144、145、・・・とによって構成されている。

次に、ランレングス伸張手段143を用いて伸張を行なう場合の動作について説明する。図15はランレングス伸張方法の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の変形例1のランレングス伸張方法を示している。

まず、ステップ151において圧縮データを1つ取得し、ステップ152において圧縮データから初期値と文字の連続回数を取得する。次に、ステップ153において初期値を連続回数だけコピーする。ステップ154において圧縮データが残っているか否かを確認し、残っていればステップ151、152、153を繰り返す。圧縮データが残っていなければ、ステップ155で伸張されたデータを出力し、処理を終了する。

図16はこの発明の第1の実施例において、データ圧縮手段の一つがランレングス圧縮手段であり、ランレングス圧縮手段の前段にBW変換手段を持つ場合のテストパターン圧縮装置21の構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン圧縮装置21は、入力されたテストパターンデータの構造或いは統計的な性質に応じて入力データのブロック分割を行なうテストパターン分割手段162と、データの周期性が大である、つまり、データの遷移回数がしきい値より大であり、かつデータのエントロピーがしきい値以下であるブロックに対してBW変換を行なうBW変換手段163と、BW変換されたデータに対してランレングス圧縮法を適用するランレングス圧縮手段164と、他のブロックに対して他の手法でデータを圧縮する少なくとも一つのデータ圧縮手段165、166とによって構成されている。

次に、BW変換手段163を用いて変換を行なう場合の動作について説明する。図17はBW変換方法の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例の変形例2中のBW変換方法を示している。

まず、ステップ171において、n文字の文字列Sを取得する。次に、ステップ172において、取得した文字列Sのn個の循環文字列（サイクリックにシフトした文字列）を生成し、ステップ173においてそれらの循環文字列をソート（分類）して行列Mを作成する。ステップ174、175においては、作成された行列Mから、行列Mの最後列から得られる文字列Lと、入力文字列Sに等しい行の番号Iを取得する。最後に、ステップ176で入力データの残りを確認し、入力データが残っていれば、これまでのステップ171、172、173、174、175を繰り返し、入力データがなければ、ステップ177で変換されたデータを出力し、処理を終了する。

図18はこの発明の第1の実施例において、データ伸張手段の一つがランレングス伸張手段であり、ランレングス圧縮手段の後段にBW変換手段をもつ場合のテストパターン伸張装置の構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン伸張装置41は、伸張の対象となる圧縮データを、BW変換の後にランレングス圧縮法で圧縮されたデータ、及びその他複数の圧縮法で圧縮されたデータとにそれぞれ分割する圧縮データ分割手段182と、それぞれ分割された圧縮データを情報損失なく、元のテストパターンに伸張するためのランレングス伸張手段183と、ランレングス伸張手段で伸張されたデータに対しBW逆変換を行なうBW逆変換手段184と、その他のデータに対し、他の手法で伸張を行なう少なくとも1つのデータ伸張手段185、186とによって構成されている。

次に、BW逆変換手段184を用いて逆変換を行なう場合の動作について説明する。図19はBW逆変換方法の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例の変形例2のBW逆変換方法を示している。

まず、ステップ191において、n文字の文字列Lと番号Iを取得する。次に、ステップ192において、取得した文字列Lの文字をソートし、文字列Fを生成する。ステップ193においては、文字列LとFの各文字の対応を示す行列Tを作成する。そして、ステップ194において、文字列L、番号I、行列Tから元

の文字列Sを復元する。最後に、ステップ195でデータの残りを確認し、データが残っていれば、これまでのステップ191、192、193、194を繰り返す、入力データがなければ、ステップ196で逆変換されたデータを出力し、処理を終了する。

図20はこの発明の第1の実施例において、データ圧縮手段の1つがHuffman圧縮手段である場合のテストパターン圧縮装置21の構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン圧縮装置21は、入力されたテストパターンデータの統計的な性質に応じて入力データのブロック分割を行なうテストパターン分割手段202と、エントロピーが小、つまり、しきい値以下であるブロックに対してHuffman圧縮法を適用するHuffman圧縮手段203と、他のブロックに対してデータを他の手法、例えばLZ圧縮法、算術符号化圧縮法などで圧縮する少なくとも1つのデータ圧縮手段204、205とによって構成されている。

次に、Huffman圧縮手段203を用いて圧縮を行なう場合の動作について説明する。図21はHuffman圧縮方法の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例の変形例3のHuffman圧縮方法を示している。

まず、ステップ211において、入力データに出現する文字の出現確率を計測する。次に、ステップ212において取得した出現確率からHuffman符号を作成するための2進木(binary tree)を作成し、ステップ213においてHuffmanの2進木に基づいてそれぞれの文字に符号を割り当てる。その後、ステップ214において入力データから1文字取得し、ステップ215において取得した文字を割り当てられた符号に変換する。最後に、ステップ216で入力データの残りを確認し、入力データが残っていれば、ステップ214、215を繰り返す、入力データがなければ、ステップ217で圧縮データを出力し、処理を終了する。

図22はこの発明の第1の実施例において、データ伸張手段の一つがHuffman伸張手段である場合のテストパターン伸張装置41の構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン伸張装置41は、伸張の対象となる圧縮データを、Huffman圧縮法で圧縮されたデータ、及びその他複数の圧縮法で圧縮されたデータとに分割する圧縮データ分割手段222と、それぞれ分割された圧縮データを情報損失なく、元のテストパターンに伸張するHuffman伸張手段223と、少な

くとも1つのデータ伸張手段224、225とによって構成されている。

次に、Huffman伸張手段223を用いて伸張を行なう場合の動作について説明する。図23はHuffman伸張方法の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例の変形例3のHuffman伸張方法を示している。

まず、ステップ231において、圧縮において用いた2進木を圧縮データから取得する。2進符号から元の文字を得るにはHuffmanの2進木をたどる必要があるため、ステップ232において2進木の根のノードに移動する。次に、ステップ233において圧縮データから2進符号を1つ取得し、ステップ234において取得した2進符号に基づいてHuffmanの2進木をたどる。そして、ステップ235で現在のノードが2進木の葉のノードであるか否かを調べ、葉のノードでなければ、葉のノードに到達するまでステップ233、234を繰り返し、葉のノードであれば、ステップ236において葉のノードに割り当てられた文字を出力する。最後に、ステップ237で2進符号の残りを確認し、2進符号が残っていれば、これまでのステップ231、232、233、234、235、236を繰り返し、入力データがなければ、ステップ238で伸張されたデータを出力し、処理を終了する。

図24はこの発明の第1の実施例において、データ圧縮手段の1つがLZ圧縮手段である場合のテストパターン圧縮装置21の構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン圧縮装置21は、入力されたテストパターンデータの統計的な性質に応じて入力データのブロック分割を行なうテストパターン分割手段242と、エントロピーが小、つまり、しきい値以下であるブロックに対してLZ圧縮法を適用するLZ圧縮手段243と、他のブロックに対してデータを他の手法、例えばHuffman圧縮法、算術符号化圧縮法などで圧縮する少なくとも1つのデータ圧縮手段244、245とによって構成されている。

次に、LZ圧縮手段243を用いて圧縮を行なう場合の動作について説明する。図25はLZ圧縮方法の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例の変形例4のLZ圧縮方法を示している。

まず、ステップ251において、圧縮に用いられる辞書の初期化を行なう。次に、ステップ252において入力データを取得し、ステップ253において取得

した文字列と辞書のマッチングを行なう。ステップ254では、他により長くマッチングする文字列があるか否かを確認し、その可能性があればステップ253のマッチングを繰り返す。他により長くマッチングする文字列がなければ、ステップ255においてマッチした文字列とマッチしなかった最初の文字を符号化し、ステップ256においてこの新しい文字列を辞書に登録する。最後に、ステップ257で入力データの残りを確認し、入力データが残っていれば、ステップ252、253、254、255、256を繰り返し、入力データがなければ、ステップ258で圧縮データを出力し、処理を終了する。

図26はこの発明の第1の実施例において、データ伸張手段の1つがLZ伸張手段である場合のテストパターン伸張装置41の構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン伸張装置41は、伸張の対象となる圧縮データを、LZ圧縮法で圧縮されたデータ、及びその他複数の圧縮法で圧縮されたデータとに分割する圧縮データ分割手段262と、それぞれ分割された圧縮データを情報損失なく、元のテストパターンに伸張するLZ伸張手段263と、少なくとも1つの他の手法のデータ伸張手段264、265とによって構成されている。

次に、LZ伸張手段263を用いて伸張を行なう場合の動作について説明する。図27はLZ伸張方法の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例の変形例4のLZ伸張方法を示している。

まず、ステップ271において、伸張に用いられる辞書の初期化を行なう。次に、ステップ272において入力圧縮データから符号を1つ取得し、ステップ273において取得した符号で辞書の検索を行なう。さらに、ステップ274で符号を文字列に変換し、ステップ275において新しく生成された文字列を辞書に登録する。最後に、ステップ276で圧縮されたデータの残りを確認し、圧縮データが残っていれば、ステップ272、273、274、275を繰り返し、圧縮データがなければ、ステップ277で伸張されたデータを出力し、処理を終了する。

図28はこの発明の第1の実施例において、データ圧縮手段の一つが算術符号化圧縮手段である場合のテストパターン圧縮装置21の構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン圧縮装置21は、入力されたテストパターンデ

ータの統計的な性質に応じて入力データのブロック分割を行なうテストパターン分割手段282と、エントロピーが小である、つまり、しきい値以下であるブロックに対して算術符号化を適用する算術符号化圧縮手段283と、他のブロックに対してデータを他の手法、例えばLZ圧縮法、Huffman圧縮法などで圧縮する少なくとも1つのデータ圧縮手段284、285とによって構成されている。

次に、算術符号化圧縮手段283を用いて圧縮を行なう場合の動作について説明する。図29は算術符号化圧縮方法の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例の変形例5の算術符号化圧縮方法を示している。

まず、ステップ291において、入力データ中のそれぞれの文字の出現確率を計測し、ステップ292においてそれぞれの文字に0から1までの数直線上の区間を割り当てる。次に、ステップ293において入力データから1文字取得し、ステップ294において取得した文字を数直線上の区間に変換する。最後に、ステップ295で入力データの残りを確認し、入力データが残っていれば、ステップ293、294を繰り返して数直線上の区間をさらに狭めていき、入力データがなければ、ステップ296でこれまでに得られた区間の下限値を取得し、ステップ297において圧縮データを出力し、処理を終了する。

図30はこの発明の第1の実施例において、データ伸張手段の一つが算術符号化伸張手段である場合のテストパターン伸張装置41の構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン伸張装置41は、伸張の対象となる圧縮データを、算術符号化圧縮法で圧縮されたデータ、及びその他複数の圧縮法で圧縮されたデータとに分割する圧縮データ分割手段302と、それぞれ分割された圧縮データを情報損失なく、元のテストパターンに伸張する算術符号化伸張手段303と、少なくとも1つの他の手法のデータ伸張手段304、305とによって構成されている。

次に、算術符号化伸張手段303を用いて伸張を行なう場合の動作について説明する。図31は算術符号化伸張方法の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例の変形例5の算術符号化伸張方法を示している。

まず、ステップ311において、圧縮データからそれぞれの文字の出現確率についての情報を取得し、圧縮の場合とまったく同様に、それぞれの文字への数直線上の区間を割り当てる。次に、ステップ312において圧縮データから実数値符号を取得し、ステップ313において実数値が含まれる区間に割り当てられた文字を出力する。そして、ステップ314、315において、実数値から区間の下限値を引き、さらに、その実数値を区間の幅で割る。最後に、ステップ316で実数値が0に等しいか否かを確認し、実数値が0でなければ、実数値が0になるまでステップ313、314、315を繰り返す。実数値が0になったならば、ステップ317において伸張されたデータを出力し、処理を終了する。

図32はこの発明の第1の実施例において使用されるテストパターン分割手段22の内部構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン分割手段22は、あらかじめ決められたしきい値を格納するしきい値記憶手段322と、入力されたデータの遷移回数を計数する遷移回数計数手段323と、しきい値と実際のデータの遷移回数とを比較する遷移回数比較手段324と、比較の結果に応じて複数のブロックに分割するブロック分割手段325とによって構成されている。

次に、このテストパターン分割手段22を使用してテストパターンのブロック分割を行なう場合の動作について説明する。図33は図32に示すテストパターン分割手段22の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例のテストパターン分割方法を示している。

まず、ステップ331において、遷移回数計数手段323が入力されたテストパターンの各ピンに対するテストパターンの遷移回数を計数する。しきい値記憶手段322に格納されているしきい値と遷移回数計数手段325で得られた遷移回数が遷移回数比較手段324に送られ、ステップ332において比較される。比較の結果はブロック分割手段325に送信される。次に、ステップ333、334において、ブロック分割手段325がテストパターンデータをそれぞれの遷移回数に応じて複数のブロックに分割する。最後に、ブロック分割手段325は、ステップ335で分割された各ブロックのデータを複数の圧縮手段の対応するものに送信する。

図34はこの発明の第1の実施例において使用されるテストパターン分割手段22の内部構成の他の一例を示すブロック図である。このテストパターン分割手段22は、あらかじめ決められたしきい値を格納しているしきい値記憶手段342と、入力データにおける記号の出現確率を計測し、記号の出現確率からデータのエントロピーを計算するエントロピー計測手段343と、しきい値と実際のデータのエントロピーとを比較するエントロピー比較手段344と、比較の結果に応じて複数のブロックに分割するブロック分割手段345とによって構成されている。

次に、このテストパターン分割手段22を使用してテストパターンのブロック分割を行なう場合の動作について説明する。図35は図34に示すテストパターン分割手段22の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例のテストパターン分割方法を示している。

まず、ステップ351において、入力されたテストパターンにおける記号の出現確率を計測する。また、ステップ352において、ステップ351で得られた確率から入力データのエントロピーを計算する。以上のステップ351、352はエントロピー計測手段343において行なわれる。

しきい値記憶手段342に格納されているしきい値とエントロピー計測手段343で得られたエントロピーがエントロピー比較手段344に送られ、ステップ353において比較される。比較の結果はブロック分割手段345に送られる。次に、ステップ354、355において、ブロック分割手段345がテストパターンデータをそれぞれのエントロピーに応じて複数のブロックに分割する。最後に、ブロック分割手段345は、ステップ356で分割された各ブロックのデータを複数の圧縮手段の対応するものに送信する。

図36はこの発明の第1の実施例において使用されるテストパターン分割手段22の内部構成の他の一例を示すブロック図である。このテストパターン分割手段22は、ブロック分割のためのデータ遷移回数のしきい値を計算するしきい値計算手段362と、しきい値計算手段362で計算されたしきい値を用いて圧縮率を見積もり、圧縮率が最大となるようにしきい値の最適化を行なう最適化手段363と、データの遷移回数を計数する遷移回数計数手段364と、最適化され



たしきい値と実際のデータの遷移回数とを比較する遷移回数比較手段365と、比較の結果に応じて複数のブロックに分割するブロック分割手段366とによって構成されている。

次に、このテストパターン分割手段22を使用してテストパターンのブロック分割を行なう場合の動作について説明する。図37は図36に示すテストパターン分割手段22の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例のテストパターン分割方法を示している。

まず、ステップ371において、起り得る可能性のあるケースをすべて列挙する。次に、ステップ372において、しきい値計算手段362が、ステップ371で列挙したケースのうちのひとつを選択し、入力テストパターンを複数のブロックに分割するためのパターンの遷移回数のしきい値を計算する。次に、ステップ373において、ブロック分割最適化手段363がステップ372で得られたしきい値を用いてブロック分割及び圧縮を行ない、圧縮率の計算を行なう。

次に、ステップ374において圧縮率を以前の結果と比較し、圧縮率が高ければ、ステップ375においてしきい値を新しい値に変更し、圧縮率が低ければ、次のステップ376に進む。ステップ376では、検証していない他のケースが存在するか否かを確認し、他のケースがあれば、ステップ372、373、374、375を繰り返す。他に検証すべきケースがなければ、ステップ377へ移る。ステップ377では、遷移回数計数手段364が入力されたテストパターンの各ピンに対するテストパターンの遷移回数を計数する。最適化されたしきい値と遷移回数計数手段364で得られた遷移回数は遷移回数比較手段365に送られ、ステップ378において比較される。比較の結果はブロック分割手段366に送信される。

次に、ステップ379、3710において、ブロック分割手段366がテストパターンデータをそれぞれの遷移回数に応じて複数のブロックに分割する。最後に、ブロック分割手段366は、ステップ3711で分割された各ブロックのデータを複数の圧縮手段の対応するものに送信する。

図38はこの発明の第1の実施例において使用されるテストパターン分割手段22の内部構成のさらに他の例を示すブロック図である。このテストパターン分

割手段22は、ブロック分割のためのエントロピーのしきい値を計算するしきい値計算手段382と、しきい値計算手段382で計算されたしきい値を用いて圧縮率を見積もり、圧縮率が最大となるようにしきい値の最適化を行なう最適化手段383と、入力データにおける記号の出現確率を計測し、その記号の出現確率からデータのエントロピーを計算するエントロピー計測手段384と、最適化されたしきい値と実際のデータのエントロピーとを比較するエントロピー比較手段385と、比較の結果に応じて複数のブロックに分割するブロック分割手段386とによって構成されている。

次に、このテストパターン分割手段22を使用してテストパターンのブロック分割を行なう場合の動作について説明する。図39は図38に示すテストパターン分割手段の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例のテストパターン分割方法を示している。

まず、ステップ391において、生じ得る可能性のあるケースをすべて列挙する。次に、ステップ392において、しきい値計算手段382が、ステップ391で列挙したケースのうちの1つを選択し、入力テストパターンを複数のブロックに分割するためのエントロピーのしきい値を計算する。次に、ステップ393において、ブロック分割最適化手段383がステップ392で得られたしきい値を用いてブロック分割及び圧縮を行ない、圧縮率の計算を行なう。次に、ステップ394において圧縮率を以前の結果と比較し、圧縮率が高ければ、ステップ395においてしきい値を新しい値に変更し、圧縮率が低ければ、次のステップ396に進む。

ステップ396では、検証していない他のケースが存在するか否かを確認し、他のケースが存在すれば、ステップ392、393、394、395を繰り返す。他に検証すべきケースがなければ、ステップ397へ移る。ステップ397では、入力されたテストパターンにおける記号の出現確率を計測する。また、ステップ398においては、ステップ397で得られた確率から入力データのエントロピーを計算する。以上のステップ397、398はエントロピー計測手段384において行なわれる。最適化されたしきい値とエントロピー計測手段384で得られたエントロピーはエントロピー比較手段385に送られ、ステップ399に

において比較される。比較の結果はブロック分割手段386に送信される。

次に、ステップ3910、3911において、ブロック分割手段386がテストパターンデータをそれぞれのエントロピーに応じて複数のブロックに分割する。最後に、ブロック分割手段386は、ステップ399で分割された各ブロックのデータを複数の圧縮手段の対応するものに送信する。

図40はこの発明の第1の実施例において、ラン・レンジス圧縮手段、BW変換手段、LZ圧縮手段を持つ場合のテストパターン圧縮装置の構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン圧縮装置21は、入力されたテストパターンデータの構造或いは統計的な性質に応じて入力データのブロック分割を行なうテストパターン分割手段402と、データの遷移回数がしきい値以下であるブロックに対してラン・レンジス圧縮を行なうランレンジス圧縮手段403と、データの遷移回数がしきい値より大であり、かつデータのエントロピーがしきい値以下であるブロックに対してBW変換を行なうBW変換手段404と、BW変換手段でBW変換されたデータに対してラン・レンジス圧縮法を適用するもう1つのラン・レンジス圧縮手段405と、データの遷移回数がしきい値より大であり、かつデータのエントロピーがしきい値より大であるブロックに対してLZ圧縮を行なうLZ圧縮手段406とによって構成されている。

次に、このテストパターン圧縮装置21を使用してテストパターンの圧縮を行なう場合の動作について説明する。図41は図40に示すテストパターン圧縮装置21の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例のテストパターン圧縮方法を示している。

テストパターン分割手段402は、ステップ411においてテストパターンデータをデータの構造或いは統計的な性質に応じて複数のブロックに分割する。分割された各ブロックのデータはステップ412において、それぞれのブロックに対し最適な圧縮アルゴリズムを持つランレンジス圧縮手段403、BW変換手段404、LZ圧縮手段406にスイッチを通じて送られる。そして、ステップ413、414、415、416において各データがそれぞれラン・レンジス圧縮手段403、BW変換手段404、ランレンジス圧縮手段405、LZ圧縮手段406によって圧縮され、最後に、ステップ417で圧縮データがスイッチを通

じて出力される。

図4 2はこの発明の第1の実施例において、ランレングス伸張手段、BW逆変換手段、LZ伸張手段を持つ場合のテストパターン伸張装置の構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン伸張装置4 1は、伸張の対象となる圧縮データを、ランレングス圧縮法で圧縮されたデータ、BW変換の後にランレングス圧縮法で圧縮されたデータ、及びLZ圧縮法で圧縮されたデータに、例えばフラグによりそれぞれ分割する圧縮データ分割手段4 2 2と、それぞれ分割されたデータを情報損失なく元のテストパターンに伸張するためのランレングス伸張手段4 2 3、4 2 4及びLZ伸張手段4 2 6と、BW変換されているテストパターンデータに対しBW逆変換を行なうBW逆変換手段4 2 5とによって構成されている。

次に、このテストパターン伸張装置4 1を使用して圧縮データの伸張を行なう場合の動作について説明する。図4 3は図4 2に示すテストパターン伸張装置の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例のテストパターン伸張方法を示している。

まず、ステップ4 3 1において、圧縮データ分割手段4 2 2が伸張対象の圧縮データをランレングス圧縮法で圧縮されたデータ、BW変換の後にランレングス圧縮法で圧縮されたデータ、及びLZ圧縮法で圧縮されたデータにそれぞれ分割する。分割された各圧縮データは、ステップ4 3 2においてそれぞれランレングス伸張手段4 2 3、4 2 4、及びLZ伸張手段4 2 6にスイッチを通じて送られる。送信されたデータは、ステップ4 3 3、4 3 4、4 3 6で各データ伸張手段によって情報損失なく元のデータに伸張される。さらに、BW変換されているデータはステップ4 3 5において元のデータにBW逆変換される。最後に、ステップ4 3 7において、伸張されたテストパターンがスイッチを通じて出力される。

図4 4はこの発明の第1の実施例において使用されるテストパターン分割手段4 2 2の機能構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン分割手段4 2 2は、ブロック分割のための環境パラメータを入力するパラメータ入力手段4 4 2と、入力された環境パラメータを格納するパラメータ記憶手段4 4 3と、パラメータ記憶手段4 4 3に格納された環境パラメータを用いてブロック分割の

ためのデータ遷移回数のしきい値を計算する遷移回数しきい値計算手段444と、入力されたデータの遷移回数を計数する遷移回数計数手段445と、遷移回数しきい値と実際のデータの遷移回数とを比較する遷移回数比較手段446と、パラメータ記憶手段443に格納された環境パラメータを用いてブロック分割のためのエントロピーのしきい値を計算するエントロピーしきい値計算手段447と、入力されたデータのエントロピーを計測するエントロピー計測手段448と、エントロピーしきい値と実際のデータのエントロピーとを比較するエントロピー比較手段449と、遷移回数比較手段446及びエントロピー比較手段449で得られた比較の結果に応じてデータを複数のブロックに分割するブロック分割手段440とによって構成されている。

次に、このテストパターン分割手段422を使用してテストパターンのブロック分割を行なう場合の動作について説明する。図45は図44に示すテストパターン分割手段422の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例のテストパターン分割方法を示している。

まず、ステップ451において、パラメータ入力手段442を用いてブロック分割のしきい値を計算するためのパラメータを入力する。入力されたパラメータは、パラメータ記憶手段443に格納される。次に、ステップ452において、遷移回数しきい値計算手段444がパラメータ記憶手段443に格納されたパラメータを用いて、入力テストパターンを複数のブロックに分割するためのパターンの遷移回数のしきい値を計算する。次に、ステップ453で、遷移回数計数手段445が入力されたテストパターンの各ビンに対するテストパターンの遷移回数を計数する。

遷移回数しきい値計算手段444で計算された遷移回数しきい値と遷移回数計数手段445で得られた遷移回数は遷移回数比較手段446に送られ、ステップ454において比較される。これと同時に、ステップ455において、エントロピーしきい値計算手段447が入力テストパターンを複数のブロックに分割するためのエントロピーのしきい値を計算する。次に、ステップ456で、入力されたテストパターンにおける記号の出現確率を計測する。また、ステップ457においては、ステップ456で得られた確率から入力データのエントロピーを計算

する。以上のステップ456、457はエントロピー計測手段448において行われる。エントロピーしきい値計算手段447で計算されたしきい値とエントロピー計測手段448で得られたエントロピーはエントロピー比較手段449に送られ、ステップ458において比較される。ここで、ステップ452から454、及びステップ455から458は、並列に処理することができる。

ステップ454及びステップ458で得られた比較の結果はブロック分割手段440に送信される。ブロック分割手段440では、まず初めに、ステップ459において、各ピンに対するテストパターンの遷移回数がしきい値以下であるか否かを判定し、遷移回数がしきい値以下であるテストパターンをステップ4510においてブロック1に分類する。また、遷移回数がしきい値より大であるテストパターンに対しては、次に、ステップ4511においてエントロピーがしきい値以下であるか否かを判定し、テストパターンのエントロピーがしきい値以下である場合には、ステップ4512においてテストパターンをブロック2に分類する。ステップ4511においてエントロピーがしきい値より大であるテストパターンはステップ4513においてブロック3に分類する。最後に、ブロック分割手段440は、ステップ4514において、分割された各ブロックのデータを複数の圧縮手段に送信する。

図46はこの発明の第1の実施例において使用されるテストパターン分割手段422の機能構成の他の一例を示すブロック図である。このテストパターン分割手段422は、ブロック分割のための環境パラメータを入力するパラメータ入力手段462と、入力された環境パラメータを格納するパラメータ記憶手段463と、遷移回数に応じてブロック分割を行なう遷移回数分割手段464と、エントロピーに応じてブロック分割を行なうエントロピー分割手段465とによって構成されている。

さらに、遷移回数分割手段464は、パラメータ記憶手段463に格納された環境パラメータを用いてブロック分割のためのデータ遷移回数のしきい値を計算する遷移回数しきい値計算手段466と、入力されたデータの遷移回数を計数する遷移回数計数手段467と、遷移回数しきい値と実際のデータの遷移回数とを比較する遷移回数比較手段468と、遷移回数比較手段468で得られた比較の

結果に応じて複数のブロックに分割するブロック分割手段469とによって構成され、エントロピー分割手段465は、パラメータ記憶手段463に格納された環境パラメータを用いてブロック分割のためのエントロピーのしきい値を計算するエントロピーしきい値計算手段4610と、入力されたデータのエントロピーを計測するエントロピー計測手段4611と、エントロピーしきい値と実際のデータのエントロピーとを比較するエントロピー比較手段4612と、エントロピー比較手段4612で得られた比較の結果に応じてデータを複数のブロックに分割するブロック分割手段4613とによって構成されている。

次に、このテストパターン分割手段461を使用してテストパターンのブロック分割を行なう場合の動作について説明する。図47は図46に示すテストパターン分割手段の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例のテストパターン分割方法を示している。

まず、ステップ471において、パラメータ入力手段462を用いてブロック分割のしきい値を計算するためのパラメータを入力する。入力されたパラメータは、パラメータ記憶手段463に格納される。次に、ステップ472において、パラメータ記憶手段463に格納されたパラメータを用いて、遷移回数分割手段464の遷移回数しきい値計算手段466が入力テストパターンを複数のブロックに分割するためのパターンの遷移回数のしきい値を計算する。次に、ステップ473で、遷移回数計数手段467が入力されたテストパターンの各ピンに対するテストパターンの遷移回数を計数する。

遷移回数しきい値計算手段466で計算された遷移回数しきい値と遷移回数計数手段467で得られた遷移回数は遷移回数比較手段468に送られ、ステップ474において比較される。ステップ474で得られた比較の結果はブロック分割手段469に送信される。次に、ステップ475において、ブロック分割手段469が各ピンに対するテストパターンの遷移回数がしきい値以下であるか否を判定し、遷移回数がしきい値以下であるテストパターンをステップ476においてブロックAに分類する。分割されたブロックAは、ステップ477でスイッチを通じて出力される。

遷移回数がしきい値より大であるテストパターンはステップ478でブロック

Bに分類し、ステップ479において分割されたブロックBをエントロピー分割手段465に送信する。次に、ステップ4710において、エントロピーしきい値計算手段4610が入力テストパターンを複数のブロックに分割するためのエントロピーのしきい値を計算する。ステップ4711で、入力されたテストパターンにおける記号の出現確率を計測する。また、ステップ4712においては、ステップ4711で得られた確率から入力データのエントロピーを計算する。以上のステップ4711、4712はエントロピー計測手段4611において行なわれる。

エントロピーしきい値計算手段4610で計算されたしきい値とエントロピー計測手段4611で得られたエントロピーはエントロピー比較手段4612に送られ、ステップ4713において比較される。ここで、ステップ472と4710はそれぞれ独立しており、並列に処理することも可能である。

ステップ4713で得られた比較の結果はブロック分割手段4613に送信される。ブロック分割手段4613では、ステップ4714において、各ピンに対するテストパターンのエントロピーがしきい値以下であるか否かを判定し、テストパターンのエントロピーがしきい値以下である場合には、ステップ4715においてテストパターンをブロックB1に分類する。ステップ4714においてエントロピーがしきい値より大であるテストパターンはステップ4716においてブロックB2に分類する。最後に、ブロック分割手段4613は、エントロピー分割手段465で分割された各ブロックのデータを、ステップ4717においてスイッチを通じて出力する。

図48はこの発明の第1の実施例において使用されるテストパターン圧縮装置21の機能構成のさらに他の一例を示すブロック図である。このテストパターン圧縮装置は、入力されたテストパターンに対して適応する最適な圧縮手法を決定する圧縮手法決定手段124と、入力テストパターンに対してランレグス圧縮方法を用いて圧縮を行なうランレグス圧縮手段125と、入力テストパターンに対してBW変換を1回以上適用する繰り返しBW変換手段126と、入力テストパターンに対してLZ圧縮方法を用いて圧縮を行なうLZ圧縮手段127と、圧縮手法決定手段124で得られた圧縮手法に従ってテストパターンの経路を選択



する3つのスイッチ128、129、131とによって構成されている。

次に、このテストパターン圧縮装置を使用してテストパターンの圧縮を行なう場合の動作について説明する。図49は図48に示すテストパターン圧縮装置の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明の第1の実施例のテストパターン圧縮方法を示している。

まず、ステップS1において、圧縮手法決定手段124が入力されたテストパターンに対して適応する最適な圧縮手法を決定し、圧縮手法を一意に決定できるフラグ(flag)をkindに設定する。ここで、フラグは、ランレングス圧縮手法については0、BWTランレングス圧縮手法についてはBW変換の適用回数m ( $m=1, 2, \dots, N$ 、ただし、NはBW変換の最大適用回数を示す固定値であり、例えば、 $N=5$ である)、LZ圧縮手法については $N+1$ の値を取る。また、テストパターンに適用する最適な圧縮手法を決定するために、経験的に決められたしきい値入力を用いられる。

次に、ステップS2a、S2b、S2cにおいて、決定された圧縮手法がランレングス圧縮手法(即ち、 $kind=0$ )である場合には、テストパターン圧縮手段のスイッチ128、129、131はそれぞれ、それらの端子1、端子1、端子1に接続され、ステップS3においてテストパターンをランレングス圧縮手段125に送信する。次に、ステップS4においてランレングス圧縮手段125がランレングス圧縮方法を用いて圧縮する。

ステップS2bにおいて、決定された圧縮方法がBWTランレングス圧縮方法(即ち、 $0 < kind < N+1$ )である場合には、テストパターン圧縮装置のスイッチ128、129、131はそれぞれ、それらの端子2、端子2、端子1に接続され、ステップS5においてテストパターンとBW変換の適用回数M( $=kind$ )をBW変換手段126に送信する。次に、ステップS6において、繰り返しBW変換手段126が、テストパターンをM回BW変換する。さらに、ステップS7においてBW変換されたデータをランレングス圧縮手段125に送信し、ステップS8においてランレングス圧縮手段125がデータを圧縮する。

ステップS2cにおいて、決定された圧縮方法がLZ圧縮方法(即ち、 $kind=N+1$ )である場合には、テストパターン圧縮装置のスイッチ128、

131はそれぞれ端子3、端子2に接続され、ステップS9においてテストパターンをLZ圧縮手段127に送信する。次に、ステップS10においてLZ圧縮手段127がテストパターンをLZ圧縮方法を用いて圧縮する。最後に、ステップS11において圧縮されたデータと圧縮に用いた方法を一意的に示すフラグkindを出力し、処理を終了する。

図50は図48に示すテストパターン圧縮装置中の繰り返しBW変換手段126の機能構成の一例を示すブロック図である。この繰り返しBW変換手段は、入力されたテストパターンに対してBW変換を行なうBW変換手段133と、BW変換の適用回数をカウントするカウンタ134と、データの経路を選択する2つのスイッチ135、136とによって構成されている。

次に、この繰り返しBW変換手段126を使用してデータのBW変換を行なう場合の動作について説明する。図51は図50に示す繰り返しBW変換手段126の処理手順を説明するためのフローチャートである。

まず、ステップS1において、入力されたテストパターンをBW変換手段133に送信し、BW変換の適用回数Mをカウンタ134に送信する。次に、ステップS2において、BW変換の適用回数mを $m=M$ にセットし、カウンタiを $i=0$ にリセットする。ステップS3において、テストパターンをBW変換し、BW変換の終了信号によってカウンタ134はiに1を加算する。ステップS4においてBW変換がm回行なわれたか否か、即ち、 $i=m$ を確認し、適用回数が $i=m$ でなければスイッチ135をオープンし、かつスイッチ136を端子1に接続して、ステップS3のBW変換を繰り返す。

適用回数が $i=m$ となれば、スイッチ135をクローズし、スイッチ136を端子2に接続して、次のステップS5において、BW変換されたデータを出力し処理を終了する。

次に、BW変換手段133を用いて変換を行なう場合の動作について説明する。図52は図50に示す繰り返しBW変換手段の処理手順を説明するためのフローチャートであり、BW変換方法を示している。

まず、ステップS1において、n文字の文字列Sを取得する。ここでは、例として $n=6$ 文字の文字列 $S='abraca'$ を用いて説明する。次に、ステッ

ブ S 2 において取得した文字列 S の n 個の循環文字列（サイクリックにシフトした文字列）を生成する。循環文字列とは、文字列の最初の文字をサイクリックに文字列の最後に移動した文字列（図 5 3（a）に示す）であり、ここで用いた S = ‘a b r a c a’ の例では、図 5 3（b）に示すように 6 つの循環文字列が得られる。

次に、ステップ S 3 において、ステップ S 2 で得られた循環文字列を辞書に登録する順番にソートして行列 M を作成する。S = ‘a b r a c a’ の例では、初めに a a、次に、a b、続いて a c というように、この例ではアルファベットの順に図 5 4 に示すようにソートされる。ステップ S 4、S 5 においては、作成された行列 M から、行列 M の最後列から得られる文字列 L と、入力文字列 S に等しい行の番号 I を取得する。S = ‘a b r a c a’ の例では、図 5 5 に示すように、L = ‘c a r a a b’、I = 2 が得られる。

以上のように、S = ‘a b r a c a’ という文字列は文字列 L = ‘c a r a a b’ と、行番号 I = 2 というデータに変換される。最後に、ステップ S 6 で入力データの残りを確認し、入力データが残っていれば、これまでのステップ S 1 ～ S 5 を繰り返し、入力データがなければ、ステップ S 7 で B W 変換されたデータを出力し、処理を終了する。

図 5 6 はこの発明の第 1 の実施例において使用されるテストパターン伸張装置の機能構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン伸張装置は、圧縮データがランレングス圧縮手法で圧縮されたデータであるか、B W T ランレングス圧縮手法で圧縮されたデータであるか、L Z 圧縮手法で圧縮されたデータであるかを判定する圧縮手法判定手段 1 4 7 と、圧縮データに対してランレングス伸張方法を用いて伸張を行なうランレングス伸張手段 1 4 2 と、ランレングス伸張されたデータに対して逆 B W 変換を 1 回以上適用する繰り返し逆 B W 変換手段 4 3 と、圧縮データに対して L Z 伸張方法を用いて伸張を行なう L Z 伸張手段 1 4 4 と、圧縮手法判定手段 4 1 で得られた圧縮手法に従って圧縮データの経路を選択する 3 つのスイッチ 1 4 5、1 4 6、1 4 7 とによって構成されている。

次に、このテストパターン伸張装置を使用してテストパターンの伸張を行なう場合の動作について説明する。図 5 7 は図 5 6 に示すテストパターン伸張装置の

処理手順を説明するためのフローチャートであり、この発明によるテストパターン伸張方法の第1の実施例を示している。

まず、ステップS1において、圧縮手法判定手段141が、テストパターン圧縮手段から圧縮データとともに出力された圧縮手法を一意的に示すフラグを取得し、このフラグを`kind`に`kind=flag`とセットする。ここで、`flag`は、ランレングス圧縮手法については0、BWTランレングス圧縮手法についてはBW変換の適用回数 $m$  ( $m=1, 2, \dots, N$ 、ただし、 $N$ はBW変換の最大適用回数を示す固定値であり、例えば、 $N=5$ である)、LZ圧縮手法については $N+1$ の値を取るように、決められている。

次に、ステップS2a~S2cにおいて、圧縮手法`kind`に応じて場合分けを行ない、判定された圧縮手法がランレングス圧縮方法(`kind=0`)の場合には、テストパターン伸張装置のスイッチ145、146、147はそれぞれ端子1、端子1、端子1に接続され、ステップS3において圧縮データをランレングス伸張手段142に送信し、ステップS4においてランレングス伸張手段142がランレングス伸張方法を用いて伸張する。ステップS2において、判定された圧縮手法がBWTランレングス伸張方法( $0 < \text{kind} < N+1$ )の場合には、テストパターン伸張装置のスイッチ145、146、147はそれぞれ端子1、端子2、端子2に接続され、ステップS5において圧縮データをランレングス伸張手段142に送信し、ステップS6においてランレングス伸張手段142が圧縮データを伸張する。

次に、ステップS7において伸張されたデータと、逆BW変換の適用回数 $M$  ( $=\text{kind}$ )を繰り返し逆BW変換手段143に送信し、ステップS8において繰り返し逆BW変換手段143がデータを $M$ 回逆BW変換する。ステップS2において、判定された圧縮手法がLZ圧縮方法(`kind=N+1`)の場合には、テストパターン伸張装置のスイッチ145、147はそれぞれ端子2、端子3に接続され、ステップS9において圧縮データをLZ伸張手段144に送信し、ステップS10においてLZ伸張手段144が圧縮データをLZ伸張方法を用いて伸張する。最後に、ステップS11において伸張されたテストパターンを出力し、処理を終了する。

図58は図56に示すテストパターン伸張装置中の繰り返し逆BW変換手段143の構成の一例を示すブロック図である。この繰り返し逆BW変換手段143は、入力されたデータに対して逆BW変換を行なう逆BW変換手段148と、逆BW変換の適用回数をカウントするカウンタ149と、データの経路を選択する2つのスイッチ151、152とによって構成されている。

次に、この繰り返し逆BW変換手段143を使用してデータの逆BW変換を行なう場合の動作について説明する。図59は図58に示す繰り返しBW変換手段143の処理手順を説明するためのフローチャートであり、繰り返しBW変換手段143でデータをBW変換するときの動作を示している。

まず、ステップS1において、入力されたデータを逆BW変換手段148に送信し、逆BW変換の適用回数Mをカウンタ149に送信する。次に、ステップS2において、逆BW変換の適用回数mを $m=M$ にセットし、カウンタ149を $i=0$ にリセットする。ステップS3において、テストパターンを逆BW変換し、逆BW変換の終了信号によってカウンタ149は $i$ に1を加算する。ステップS4において逆BW変換がm回行なわれたか否か、即ち、 $i=m$ を確認し、適用回数が $i=m$ でなければ、スイッチ51をオープンし、スイッチ152を端子1に接続して、ステップS3の逆BW変換を繰り返す。適用回数が $i=m$ となれば、スイッチ151をクローズし、スイッチ152を端子2に接続して、次のステップS5において、逆BW変換されたデータを出力し、処理を終了する。

上記逆BW変換手段143を用いて逆変換を行なう場合の他の動作についてさらに説明する。図60は図56に示すテストパターン伸張装置中の逆BW変換手段の処理手順を説明するためのフローチャートであり、逆BW変換方法を示している。ここでは、BW変換の説明で用いた $L = \text{'c a r a a b'}$ 、 $I = 2$ の例を用いて説明する。

まず、ステップS1において変換データを1つ取得し、ステップS2において変換データから得られる文字列Lと番号I、文字列の長さnをセットする。この例では、 $L = \text{'c a r a a b'}$ 、 $I = 2$ 、 $n = 6$ である。

次に、ステップS3において、取得した文字列Lの文字をアルファベット順にソートし、文字列Fを生成する。 $L = \text{'c a r a a b'}$ の例では図61に示すよ

うに  $F = 'aaabcr'$  である。ステップ S 4 においては、文字列 L と F の各文字  $L[i]$ 、 $F[i]$  の対応を示す行列 T を作成する。ここで、T は  $L[T[i]] = F[i]$  を満たす行列である。また、もし文字列 L の中で同じ文字 ch が使われているときには、文字列 L における ch が文字列 F における ch と同じ順序となるようにそれぞれを対応させる。従って、 $L = 'caraab'$ 、 $F = 'aaabcr'$  の例では、図 6 1 に示すように、 $T = [2\ 4\ 5\ 6\ 1\ 3]$  が得られる。

次に、ステップ S 5 において、カウンタ 149 を  $i = 0$  にリセットする。ステップ S 6 においてカウンタ 149 に 1 を加算し、ステップ S 7 において文字列 F、番号 I、行列 T から元の文字列 S の i 番目の文字  $S[i]$  を復元する。ここで、 $S[i]$  は  $S[i] = F[T^{i-1}[I]]$ 、 $T^0[I] = I$ 、 $T^{i+1}[I] = T[T^i[I]]$  で表される。ステップ S 8 において、文字  $S[i]$  を出力する。つまり、まず  $i = 1$  とすると、 $F[T^0[I]]$  となり、前記の通り  $T^0[I] = I$  であり、この例では  $I = 2$  であるから  $F[2]$  となり、F の 2 番目 a が  $S[1] = a$  となり、次に、 $i = 2$  とすると、 $F[T^1[I]]$  となり、 $T^1[I] = T[T^0[I]] = T[2]$  となり、T の 2 番目は  $T = 4$  であるから  $F[4]$  となり、F の 4 番目は b であるから  $S[2] = b$  となり、 $i = 3$  では  $F[T^2[I]]$  であり、 $T^2[I] = T[T^1[I]] = T[4]$  となり、T の 4 番目は 6 であるから、 $F[6]$  となり、F の 6 番目は r であるから  $S[3] = r$  となる。以下同様にして、逆 BW 変換される。

次に、ステップ S 9 において、文字列 S の復元されていない文字があるか否か、即ち、 $i < n$  を確認し、復元されていない文字が残っていれば ( $i < n$  であれば) ステップ S 6 ~ S 8 を繰り返し、最後の文字まで復元されていれば ( $i = n$  であれば)、ステップ S 10 に進む。

ここで用いた例では、図 6 2 に示すように、 $S[1] = a$ 、 $S[2] = b$ 、 $S[3] = r$ 、 $S[4] = a$ 、 $S[5] = c$ 、 $S[6] = a$  となる。従って、元の文字列  $S = 'abraca'$  が復元されたことになる。最後に、ステップ S 10 でデータの残りを確認し、データが残っていれば、これまでのステップ S 1 から S 9 を繰り返し、入力データがなければ、処理を終了する。

図63は図48に示すテストパターン圧縮装置中の圧縮手法決定手段124の機能構成の一例を示すブロック図である。この圧縮手法決定手段は、テストパターンに対しBW変換を適用する場合の最適な適用回数を計算するBW変換最適化手段154と、圧縮率のしきい値を格納するしきい値記憶手段155と、BW変換最適化手段154から得られた圧縮率の最大値としきい値記憶手段155のしきい値とを比較する圧縮率比較手段156と、圧縮率比較手段156から得られた比較の結果及びBW変換最適化手段154から得られたBW変換の最適な適用回数に応じてランレングス圧縮方法で圧縮するか、或いはBWTランレングス圧縮方法で圧縮するか或いは、LZ圧縮方法で圧縮するかを選択する圧縮手法選択手段157とによって構成されている。

次に、この圧縮手法決定手段124を使用してテストパターンに適用する最適な圧縮方法を決定する場合の動作について説明する。図64は図63に示す圧縮手法決定手段124の処理手順を説明するためのフローチャートであり、この圧縮手法決定方法の動作を示している。

まず、ステップS1において、初期化BW変換の最大適用回数 $n$ を $n=N$ （例えば、 $N=5$ ）にセットし、圧縮率のしきい値 $R_{th}$ を外部からある値（例えば、 $R_{th}=10$ ）にセットし、カウンタ $i$ 、圧縮率の最大値 $R_{max}$ 、BW変換の適用回数 $n$ を0にリセットし、環境変数の初期化を行なう。ステップS2では、入力されたテストパターンをBW変換最適化手段154に送信する。次に、ステップS3においてテストパターンを1回BW変換してカウンタ $i$ に1を加算し、ステップS4においてBW変換されたデータの遷移回数 $\phi_i$ を測定する。

次に、ステップS5において、得られた遷移回数 $\phi_i$ とBW変換の適応回数 $i$ から式(1)を用いて圧縮率 $R_i$ の計算を行なう。

$$R_i = [\log_2 |A| / \{i \cdot [\log_2 L] + \phi_i \cdot [\log_2 \{(|A| - 1) \cdot L\} + \log_2 (L - 1) + \log_2 |A| \}] \quad (5)$$

ここで、 $L$ ：テストパターンの長さ、 $|A|$ ：テストパターンに出現する記号の集合の大きさ、この例では0と1と $x$ であるから $|A|=3$ 、 $[x]$ は $x$ 以上の最小の整数である。

ステップS 6においてこれまでに得られた圧縮率の最大値 $R_{\max}$ と新しく計算された圧縮率 $R_i$ を比較し、新しく計算された圧縮率 $R_i$ の方が大きければ( $R_i > R_{\max}$ であれば)、ステップS 7において圧縮率の最大値 $R_{\max}$ を $R_{\max} = R_i$ に更新し、BW変換の適応回数 $m$ をそのときの $m = i$ に更新する。

次に、ステップS 8において、BW変換の適応回数がステップS 1でセットしたある指定された回数 $n$ になったか否か、即ち、 $i < n$ を確認し、適応回数 $i$ が指定回数 $n$ より小さければ、ステップS 3～S 7を繰り返し、適応回数 $i$ が指定回数 $n$ になったならば、ステップS 9に進む。

ステップS 3～S 8はBW変換最適化手段1 5 4によって行なわれる。即ち、BW変換最適化手段1 5 4は、ステップS 3～S 8をある指定された回数 $n$ だけ繰り返すことによって、圧縮率の最大値 $R_{\max}$ とそのときのBW変換の適用回数 $m$ を取得する。次に、ステップS 9において、BW変換最適化手段1 5 4で得られた圧縮率の最大値 $R_{\max}$ としきい値記憶手段1 5 5に格納されている経験的に求めた圧縮率のしきい値 $R_{th}$ を圧縮率比較手段1 5 6に送信し、それらを比較する。ステップS 10において圧縮率の最大値 $R_{\max}$ がしきい値 $R_{th}$ 以下であれば、ステップS 11において適用する圧縮手法をLZ圧縮方法と決定し、フラグ $flag$ を $flag = N + 1$ にセットする。ステップS 10においてしきい値 $R_{th}$ の方が最大値 $R_{\max}$ より小さければ、次のステップS 12においてBW変換の適用回数 $m$ を確認する。

ステップS 12においてBW変換の適用回数 $m$ が0であればステップS 13においてテストパターンに適用する圧縮手法をランレングス圧縮方法と決定して $flag = 0$ とし、BW変換の適用回数 $m$ が0でなければステップS 14においてテストパターンに適用する圧縮手法をBWTランレングス圧縮方法と決定して $flag = m$ とする。ステップS 11～S 14は、圧縮手法選択手段1 5 7によって行なわれる。最後に、圧縮手法選択手段1 5 7が、ステップS 15において圧縮方法を一意的に決定するフラグ $flag$ を出力して処理を終了する。

以上において、圧縮率のしきい値 $R_{th}$ は外部からセットすることもできるし、あらかじめ固定された値にセットしておくこともできる。外部からセットする場合には、しきい値記憶手段1 5 5はRAMとして動作する。一方、あらかじめ固



定値をセットしておく場合には、しきい値記憶手段155はROMとして動作し、このときしきい値入力はいらない。

データ圧縮法の組み合わせが現在のところ最も効率のよい結果が得られているのは、ランレングス圧縮手法、BW変換手法+ランレングス圧縮手法、LZ圧縮手法の3つの手法を組合わせた場合である。テストパターンは、パターン遷移が非常に少ない部分と、パターンが周期的に遷移する部分と、パターンがランダムに遷移する部分との三つの部分に分けることができ、これら三つの部分にそれぞれランレングス圧縮手法、BW変換手法+ランレングス圧縮手法、LZ圧縮手法を適用することによって効率のよい圧縮を得ることができる。ここで、パターンがランダムに遷移する部分に対し、LZ圧縮手法を用いているが、Huffman圧縮手法などを用いてもよい。現在誰もが利用できる圧縮手法は殆どがLZ圧縮手法をベースとしており、Huffman圧縮手法より圧縮率がよいため、前記例ではLZ圧縮手法を用いた。

上述ではこの発明を、テストするためにLSIに印加するテストパターンの圧縮、伸張に適用したが、例えば、テキスト情報と、イメージ情報と、レイアウト情報となどで構成されたドキュメントのファイル（データ）を、性質の異なるデータ部分にブロック分割し、それぞれを最適なアルゴリズムで圧縮を行なうことによって、圧縮率を向上することができる。例えば、テキストデータ部分にはLZ圧縮手法などのテキスト圧縮技術を適用し、イメージデータ部分には、JBIGやJPEGなどのイメージ圧縮技術を適用し、レイアウト情報部分については、Huffman圧縮手法などを適用する。

次に、この発明の第2の実施例について詳細に説明する。

図65はこの発明の第2の実施例において使用されるテストパターン圧縮装置の機能構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン圧縮装置は、1入力1出力のテストパターン圧縮装置であり、入力されたテストパターンデータを各ピン毎のテストシーケンスに分割するテストパターン分割手段11と、分割されたテストシーケンスを最適な圧縮方法を用いて圧縮するテストシーケンス圧縮手段12と、圧縮されたデータを一時格納するバッファ13とによって構成されている。

次に、このテストパターン圧縮装置を使用してテストパターンの圧縮を行なう場合の動作について説明する。図 6 6 はこの発明の第 2 の実施例のテストパターン圧縮方法を示している。テストパターン分割手段 1 1 は、ステップ S 1 において入力されたテストパターンを各ピン毎のテストシーケンスに分割する。次に、ステップ S 2 において、テストシーケンスの分割数  $k$  を  $k = K$  に設定し、カウンタ  $i$  を  $i = 0$  にリセットする。ここで、 $K$  は、例えば、集積回路のピンの数である。ステップ S 3 において、分割されたテストシーケンスから 1 つを選択し、カウンタ  $i$  を 1 だけ加算して、ステップ S 4 においてテストシーケンス圧縮手段 1 2 に送信する。テストシーケンス圧縮手段 1 2 はステップ S 5 においてテストシーケンスを最適な手法を用いて圧縮する。

ここで、各テストシーケンスに適用する最適な圧縮方法を決定するために、しきい値入力を用いられる。圧縮されたデータは、ステップ S 6 において、バッファ 1 3 に順次格納する。次に、ステップ S 7 において他にテストシーケンスが残っているか否か、即ち、 $i < k$  であるかを確認し、残っていれば、( $i < k$  ならば) ステップ S 3 ~ S 6 を繰り返し、他にテストシーケンスが残っていなければ ( $i = k$  ならば)、ステップ S 8 に移る。最後に、ステップ S 8 において、圧縮されたデータをまとめて出力し、処理を終了する。

図 6 7 はこの発明の第 2 の実施例において使用されるテストパターン圧縮装置の構成の変形例を示すブロック図である。このテストパターン圧縮装置は、1 入力 1 出力のテストパターン圧縮装置であり、入力されたテストパターンデータを各ピン毎のテストシーケンスに分割するテストパターン分割手段 1 1 と、分割されたテストシーケンスを最適な圧縮方法を用いて圧縮するテストシーケンス圧縮手段 1 2 とによって構成されている。

次に、このテストパターン圧縮装置を使用してテストパターンの圧縮を行なう場合の動作について説明する。図 6 8 はこの発明の第 2 の実施例のテストパターン圧縮方法の変形例を示している。テストパターン分割手段 1 1 は、ステップ S 1 において入力されたテストパターンを各ピン毎のテストシーケンスに分割する。次に、ステップ S 2 において、テストシーケンスの分割数  $k$  を  $k = K$  に設定し、カウンタ  $i$  を  $i = 0$  にリセットする。ここで、 $K$  は、例えば、集積回路のピンの

数である。ステップS 3において、分割されたテストシーケンスから1つを選択し、カウンタ*i*を1だけ加算して、ステップS 4においてテストシーケンス圧縮手段1 2に送信する。テストシーケンス圧縮手段1 2はステップS 5においてテストシーケンスを最適な方法を用いて圧縮する。

ここで、各テストシーケンスに適用する最適な圧縮方法を決定するために、しきい値入力がいられる。次に、ステップS 7において、圧縮されたデータをテストシーケンス単位で出力する。最後に、ステップS 7において他にテストシーケンスが残っているか否か、即ち、 $i < k$ であるかを確認し、残っていれば( $i < k$ ならば)、ステップS 3～S 6を繰り返し、他にテストシーケンスが残っていなければ( $i = k$ ならば)処理を終了する。

図6 9はこの発明の第2の実施例において使用されるテストパターン圧縮装置の他の機能構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン圧縮装置は、1入力多出力のテストパターン圧縮装置であり、入力されたテストパターンデータを各ピン毎のテストシーケンスに分割するテストパターン分割手段1 1と、分割されたテストシーケンスを最適な圧縮方法を用いて並列に圧縮するための複数のテストシーケンス圧縮手段1 2<sub>1</sub>～1 2<sub>n</sub>と、これらテストシーケンス圧縮手段1 2<sub>1</sub>～1 2<sub>n</sub>を選択するスイッチ1 4とによって構成されている。

次に、このテストパターン圧縮装置を使用してテストパターンの圧縮を行なう場合の動作について説明する。図7 0はこの発明の第2の実施例のテストパターン圧縮方法の他の例を示している。テストパターン分割手段1 1は、ステップS 1において入力されたテストパターンを各ピン毎のテストシーケンスに分割する。次に、ステップS 2において、分割された各テストシーケンスをスイッチ1 4を通じて複数のテストシーケンス圧縮手段1 2<sub>1</sub>～1 2<sub>n</sub>に順次送信し、各テストシーケンス圧縮手段1 2<sub>1</sub>～1 2<sub>n</sub>を起動する。

各テストシーケンス圧縮手段1 2<sub>1</sub>～1 2<sub>n</sub>はそれぞれ、ステップS 3<sub>1</sub>～S 3<sub>n</sub>においてテストシーケンスを最適な手法を用いて圧縮する。ここで、各テストシーケンスに適用する最適な圧縮方法を決定するために、しきい値入力がいられる。最後にステップS 4<sub>1</sub>～S 4<sub>n</sub>において、圧縮されたデータを並列に出力し、処理を終了する。テストシーケンスの圧縮には比較的時間がかかるため、

この並列処理により高速処理が可能となる。

図7 1はこの発明の第2の実施例において使用されるテストパターン伸張装置の構成の一例を示している。このテストパターン伸張装置は、1入力1出力のテストパターン伸張装置であり、伸張の対象となる圧縮データを、各ピン毎の圧縮データに分割する圧縮データ分割手段16と、分割された圧縮データを情報損失なく、元のテストシーケンスに伸張するテストシーケンス伸張手段17と、伸張されたテストシーケンスを一時格納するバッファ18とによって構成されている。

次に、このテストパターン伸張装置を使用して圧縮データの伸張を行なう場合の動作について説明する。図7 2はこの発明の第2の実施例のテストパターン伸張方法の処理手順を説明するためのフローチャートである。

まず、ステップS1において、圧縮データ分割手段16が伸張対象の圧縮データを各ピン毎の圧縮データに分割する。次に、ステップS2において、圧縮データの分割数 $k$ を $k=K$ に設定し、カウンタ $i$ を $i=0$ にリセットする。ここで、 $K$ は、例えば、集積回路のピンの数である。ステップS3において、分割された圧縮データから1つ選択し、カウンタ $i$ を1だけ加算して、ステップS4においてテストシーケンス伸張手段17に送信する。テストシーケンス伸張手段17はステップS5において、圧縮データを完全に元のテストシーケンスに伸張する。伸張されたデータは、ステップS6において、バッファ18に順次格納する。次に、ステップS7において他に圧縮データが残っているか否か、即ち、 $i < k$ であるかを確認し、残っていれば( $i < k$ ならば)、ステップS3～S6を繰り返し、他に圧縮データが残っていなければ( $i = k$ ならば)、ステップS8に移る。最後に、ステップS8において、伸張されたテストシーケンスをまとめて出力し、処理を終了する。

図7 3はこの発明の第2の実施例において使用されるテストパターン伸張装置の構成の変形例を示すブロック図である。このテストパターン伸張装置は、1入力1出力のテストパターン伸張装置であり、伸張の対象となる圧縮データを、各ピン毎の圧縮データに分割する圧縮データ分割手段16と、分割された圧縮データを情報損失なく、元のテストシーケンスに伸張するテストシーケンス伸張手段17とによって構成されている。

次に、このテストパターン伸張装置を使用して圧縮データの伸張を行なう場合の動作について説明する。図74はこの発明の第2の実施例のテストパターン伸張方法の変形例を示している。

まず、ステップS1において、圧縮データ分割手段16が伸張対象の圧縮データを各ピン毎の圧縮データに分割する。次に、ステップS2において、圧縮データの分割数 $k$ を $k=K$ に設定し、カウンタ $i$ を $i=0$ にリセットする。ここで、 $K$ は、例えば、集積回路のピンの数である。ステップS3において、分割された圧縮データから1つ選択し、カウンタ $i$ を1だけ加算して、ステップS4においてテストシーケンス伸張手段17に送信する。テストシーケンス伸張手段17はステップS5において、圧縮データを完全に元のテストシーケンスに伸張する。次に、ステップS6において、伸張されたテストシーケンスをピン単位で出力する。最後に、ステップS7において他に圧縮データが残っているか否か、即ち、 $i < k$ であるか否かを確認し、残っていれば( $i < k$ ならば)、ステップS3～S6を繰り返し、他に圧縮データが残っていなければ( $i = k$ ならば)、処理を終了する。

図75はこの発明の第2の実施例において使用されるテストパターン伸張装置の他の機能構成例を示すブロック図である。このテストパターン伸張装置は、1入力多出力のテストパターン伸張装置であり、伸張の対象となる圧縮データに対して各ピン毎の圧縮データに分割する圧縮データ分割手段16と、分割された圧縮データを情報損失なく、元のテストシーケンスに並列に伸張するための複数のテストシーケンス伸張手段17<sub>1</sub>～17<sub>n</sub>と、テストシーケンス伸張手段を選択するスイッチ19とによって構成されている。

次に、このテストパターン伸張装置を使用して圧縮データの伸張を行なう場合の動作について説明する。図76はこの発明の第2の実施例のテストパターン伸張方法を示している。

まず、ステップS1において、圧縮データ分割手段16が伸張対象の圧縮データを各ピン毎の圧縮データに分割する。次に、ステップS2において、分割された各圧縮データを複数のテストシーケンス伸張手段17<sub>1</sub>～17<sub>n</sub>に送信し、各テストシーケンス伸張手段17<sub>1</sub>～17<sub>n</sub>を起動する。各テストシーケンス伸張

手段 $17_1 \sim 17_n$ はステップ $S3_1 \sim S3_n$ において、それぞれの圧縮データを完全に元のテストシーケンスに伸張する。最後に、ステップ $S4_1 \sim S4_n$ において、伸張されたテストシーケンスを並列に出力し、処理を終了する。データ伸張はデータ圧縮よりは短時間で行えるが、高速処理が必要であり、このように各ピン毎に並列処理することにより各伸張手段の処理速度が低いものを使用できる。

図77はこの発明の第2の実施例において使用されるテストパターン伸張装置の構成の一例を示すブロック図である。このテストパターン伸張装置は、多入力1出力のテストパターン伸張装置であり、並列に入力された各ピン毎の圧縮データに対して情報損失なく、元のテストシーケンスに伸張するための、並列に接続された複数のテストシーケンス伸張手段 $17_1 \sim 17_n$ と、その伸張されたテストシーケンスをそれぞれ一時格納するテストシーケンスバッファ $520_1 \sim 520_n$ と、伸張された各テストシーケンスを出力するためにこれらテストシーケンスバッファ $520_1 \sim 520_n$ を選択するスイッチ521と、伸張された全テストシーケンスを一時格納するバッファ522とによって構成されている。

次に、このテストパターン伸張装置を使用して圧縮データの伸張を行なう場合の動作について説明する。図78はこの発明の第2の実施例のテストパターン伸張方法を示している。

並列に入力された各ピン毎の圧縮データは複数のテストシーケンス伸張装置に送信される。まず、ステップS1において、各テストシーケンス伸張手段 $17_1 \sim 17_n$ を起動する。次に、ステップS2において、各テストシーケンス伸張手段 $17_1 \sim 17_n$ がそれぞれの圧縮データを完全に元のテストシーケンスに伸張してそれぞれ対応するテストシーケンスバッファ $520_1 \sim 520_n$ に一時格納する。伸張されたテストシーケンスは、ステップS3において、バッファ522に格納される。ここで、テストシーケンスは、テストシーケンス伸張手段 $17_1 \sim 17_n$ から伸張終了信号を受信することによって、すべてのテストシーケンスの伸張が終わった後で固定された順番でバッファ522に格納するか、或いは伸張された順番にバッファ522に格納することが可能である。最後に、ステップS4において、バッファ522から伸張されたテストシーケンスによりテストパタ

ーンを構成して出力し、処理を終了する。

図79はこの発明の第2の実施例において使用されるテストパターン伸張装置の構成の変形例を示している。このテストパターン伸張装置は、多入力1出力のテストパターン伸張装置であり、並列に入力された各ピン毎の圧縮データに対して情報損失なく、元のテストシーケンスに伸張するための、並列に接続された複数のテストシーケンス伸張手段 $17_1 \sim 17_n$ と、伸張された各テストシーケンスが一時格納されるテストシーケンスバッファ $520_1 \sim 520_n$ と、出力するためにテストシーケンスバッファ $520_1 \sim 520_n$ を選択するスイッチ $521$ とによって構成されている。

次に、このテストパターン伸張装置を使用して圧縮データの伸張を行なう場合の動作について説明する。図80はこの発明の第2の実施例のテストパターン伸張方法の変形例を示している。

並列に入力された各ピン毎の圧縮データは複数のテストシーケンス伸張装置に送信される。まず、ステップS1において、各テストシーケンス伸張手段 $17_1 \sim 17_n$ を起動する。次に、ステップS2 $_1 \sim S2_n$ において、各テストシーケンス伸張手段 $17_1 \sim 17_n$ がそれぞれの圧縮データを完全に元のテストシーケンスに伸張してテストシーケンスバッファ $520_1 \sim 520_n$ に格納する。最後に、ステップS3 $_1 \sim S3_n$ において、スイッチ $521$ を通じて伸張されたテストシーケンスをピン単位で出力し、処理を終了する。

ここで、テストシーケンスは、テストシーケンス伸張手段 $17_1 \sim 17_n$ から伸張終了信号を受信することによって、すべてのテストシーケンスの伸張が終わった後で固定された順番で出力するか、或いは伸張された順番に出力することが可能である。図77及び図79に示した構成の何れにおいても、出力される伸張されたテストシーケンスを、圧縮前のテストパターンと同一のものとすることにより、ICテスト内のパターンジェネレータとして従来用いられているものに供給することが可能となる。

図81はこの発明の第2の実施例において使用されるテストシーケンス圧縮装置の機能構成の一例を示している。このテストシーケンス圧縮装置は、入力されたテストシーケンスに対して適応する最適な圧縮手法を決定する圧縮手法決定手

段524と、テストシーケンスに対しランレングス圧縮方法を用いて圧縮を行なうランレングス圧縮手段525と、テストシーケンスに対しBW変換を1回以上適用する繰返しBW変換手段526と、テストシーケンスに対してLZ圧縮手法を用いて圧縮を行なうLZ圧縮手段527と、圧縮手法決定手段524で得られた圧縮手法に従ってテストシーケンスの経路を選択する3つのスイッチ528、529、531とによって構成されている。

次に、このテストシーケンス圧縮装置を使用してテストシーケンスの圧縮を行なう場合の動作について説明する。図82はこの発明の第2の実施例のテストシーケンス圧縮方法を示している。

まず、ステップS1において、圧縮手法決定手段524が入力されたテストシーケンスに対して適応する最適な圧縮手法を決定し、圧縮手法を一意に決定できるフラグflagをkindに設定する。ここで、flagは、ランレングス圧縮手法については0、BWTランレングス圧縮手法についてはBW変換の適用回数m ( $m=1, 2, \dots, N$ 、ただし、NはBW変換の最大適用回数を示す固定値であり、例えば、 $N=5$ である)、LZ圧縮手法については $N+1$ の値を取る。また、テストシーケンスに適用する最適な圧縮手法を決定するために、経験的に決められたしきい値入力がいられる。

次に、ステップS2a、S2b、S2cにおいて、決定された圧縮手法がランレングス圧縮手法（即ち、 $kind=0$ ）である場合には、テストシーケンス圧縮装置のスイッチ528、529、531はそれぞれ、端子1、端子1、端子1に接続され、ステップS3においてテストシーケンスをランレングス圧縮手段525に送信する。次に、ステップS4においてランレングス圧縮手段525がランレングス圧縮手法を用いて圧縮する。ステップS2bにおいて、決定された圧縮方法がBWTランレングス圧縮方法（即ち、 $0 < kind < N+1$ ）である場合には、テストシーケンス圧縮装置のスイッチ528、529、531はそれぞれ、端子2、端子2、端子1に接続され、ステップS5においてテストシーケンスとBW変換の適用回数 $M (=kind)$ をBW変換手段526に送信する。次に、ステップS6において、繰返しBW変換手段526が、テストシーケンスをM回BW変換する。さらに、ステップS7においてBW変換されたデータをラ



ランレングス圧縮手段525に送信し、ステップS8においてランレングス圧縮手段525がデータを圧縮する。ステップS2cにおいて、決定された圧縮方法がLZ圧縮方法（即ち、 $kind = N + 1$ ）である場合には、テストシーケンス圧縮装置のスイッチ528、531はそれぞれ端子3、端子2に接続され、ステップS9においてテストシーケンスをLZ圧縮手段527に送信する。次に、ステップS10においてLZ圧縮手段527がテストシーケンスをLZ圧縮方法を用いて圧縮する。最後に、ステップS11において圧縮されたデータと圧縮に用いた方法を一意的に示すフラグ $kind$ を出力し、処理を終了する。

図83は図81に示すテストシーケンス圧縮手段中の繰り返しBW変換手段526の機能構成の一例を示している。この繰り返しBW変換手段は、入力されたテストシーケンスに対してBW変換を行なうBW変換手段533と、BW変換の適用回数をカウントするカウンタ534と、データの経路を選択する2つのスイッチ535、536とによって構成されている。

次に、この繰り返しBW変換手段526を使用してデータのBW変換を行なう場合の動作について説明する。図84は繰り返しBW変換手段によりデータをBW変換するときのフローチャートである。

まず、ステップS1において、入力されたテストシーケンスをBW変換手段533に送信し、BW変換の適用回数 $M$ をカウンタ534に送信する。次に、ステップS2において、BW変換の適用回数 $m$ を $m = M$ にセットし、カウンタ $i$ を $i = 0$ にリセットする。ステップS3において、テストシーケンスをBW変換し、BW変換の終了信号によってカウンタ534はカウンタ $i$ に1を加算する。ステップS4においてBW変換が $m$ 回行なわれたか否か、即ち、 $i = m$ を確認し、適用回数が $i = m$ でなければ、スイッチ535をオープンし、スイッチ536を端子1に接続して、ステップS3のBW変換を繰り返す。適用回数が $i = m$ となれば、スイッチ535をクローズし、スイッチ536を端子2に接続して、次のステップS5において、BW変換されたデータを出力し、処理を終了する。

ここで、ランレングス圧縮、BW変換、LZ圧縮について説明する。

初めに、ランレングス圧縮手段525を用いて圧縮を行なう場合の動作を説明する。図85はランレングス圧縮方法を示すフローチャートである。まず、ステ

ップS 1において、入力文字列から1文字データを取得してchにセットする。次に、ステップS 2において、取得した文字chをランレングス符号を生成するための記号の初期値initialにセットし、カウンタiを1に初期化する。次に、ステップS 3で入力データから1文字取得してchにセットし、ステップS 4でカウンタiに1を加算し、文字数をカウントする。ステップS 5では取得した文字chと初期値initialとを比較し、文字chが初期値initialと等しければ(ch=initialであれば)、ステップS 6へ進み、文字chが初期値initialと異なれば(ch≠initialであれば)、ステップS 7へ進む。

ステップS 6では、入力データが残っているか否かを確認し、残っていればステップS 3、S 4、S 5を繰り返し、残っていなければステップS 7に進む。ステップS 7においては、初期値initialと得られたカウント数iを用いて符号化する。次に、ステップS 8において、入力データの残りを確認し、入力データが残っていれば、これまでのステップS 2～S 7を繰り返し、入力データがなければステップS 9で圧縮データを出力し、処理を終了する。

次に、BW変換手段533を用いて変換を行なう場合の動作について説明する。図86はBW変換方法を示すフローチャートである。まず、ステップS 1において、n文字の文字列Sを取得する。ここでは、例としてn=6文字の文字列S='a b r a c a'を用いて説明する。次に、ステップS 2において取得した文字列Sのn個の循環文字列(サイクリックにシフトした文字列)を生成する。循環文字列とは、文字列の最初の文字をサイクリックに文字列の最後に移動した文字列(図87(a)に示す)であり、ここで用いたS='a b r a c a'の例では、図87(b)に示すように、6つの循環文字列が得られる。次に、ステップS 3において、ステップS 2で得られた循環文字列を辞書に登録する順番にソートして行列Mを作成する。S='a b r a c a'の例では、初めにaa、次に、ab、続いてacというように、この例ではアルファベットの順に図88に示すようにソートされる。

ステップS 4、S 5においては、作成された行列Mから、行列Mの最後列から得られる文字列Lと、入力文字列Sに等しい行の番号Iを取得する。S='a b r a c a'の例では、図89のように、L='c a r a a b'、I=2が得られ

る。以上のように、 $S = \text{'abraca'}$  という文字列は文字列  $L = \text{'carab'}$  と行番号  $I = 2$  というデータに変換される。最後に、ステップ  $S6$  で入力データの残りを確認し、入力データが残っていればこれまでのステップ  $S1 \sim S5$  を繰り返し、入力データがなければステップ  $S7$  で  $BW$  変換されたデータを出し、処理を終了する。

最後に、 $LZ$  圧縮手段  $527$  を用いて圧縮を行なう場合の動作について説明する。図  $90$  は  $LZ$  圧縮方法を示すフローチャートである。まず、ステップ  $S1$  において、圧縮に用いられる辞書  $dic$  の初期化を行なう。次に、ステップ  $S2$  において入力データ  $in$  を取得し、ステップ  $S3$  において取得した文字列  $in$  と辞書  $dic$  のマッチングを行なう。ステップ  $S4$  では、他により長くマッチングする文字列があるか否かを確認し、その可能性があればステップ  $S3$  のマッチングを繰り返す。ステップ  $S4$  において他により長くマッチングする文字列がなければ、ステップ  $S5$  においてマッチした文字列  $match$  とマッチしなかった最初の文字  $ch$  を符号化し、ステップ  $S6$  においてこの新しい文字列  $match + ch$  を辞書に登録する。最後に、ステップ  $S7$  で入力データの残りを確認し、入力データが残っていればステップ  $S2 \sim S6$  を繰り返し、入力データがなければステップ  $S8$  で圧縮データを出力し、処理を終了する。

図  $91$  はこの発明の第  $2$  の実施例において使用されるテストシーケンス伸張手段の機能構成の一例を示すブロック図である。このテストシーケンス伸張手段は、圧縮データがランレングス圧縮手法で圧縮されたデータであるか、 $BWT$  ランレングス圧縮手法で圧縮されたデータであるか、 $LZ$  圧縮手法で圧縮されたデータであるかを判定する圧縮手法判定手段  $541$  と、圧縮データに対してランレングス伸張方法を用いて伸張を行なうランレングス伸張手段  $542$  と、ランレングス伸張されたデータに対して逆  $BW$  変換を  $1$  回以上適用する繰り返し逆  $BW$  変換手段  $543$  と、圧縮データに対して  $LZ$  伸張方法を用いて伸張を行なう  $LZ$  伸張手段  $544$  と、圧縮手法判定手段  $541$  で得られた圧縮手法に従って圧縮データの経路を選択する  $3$  つのスイッチ  $545$ 、 $546$ 、 $547$  とによって構成されている。

次に、このテストシーケンス伸張装置を使用してテストシーケンスの伸張を行

なう場合の動作について説明する。図92はこの発明の第2の実施例のテストシーケンス伸張方法を示すフローチャートである。まず、ステップS1において、圧縮手法判定手段541が、テストシーケンス圧縮手段から圧縮データとともに出力された圧縮手法を一意的に示すフラグを取得し、このフラグを`kind`に対し、`kind=flag`とセットする。

ここで`flag`は、ランレングス圧縮手法については0、BWTランレングス圧縮手法についてはBW変換の適用回数 $m$  ( $m=1, 2, \dots, N$ 、ただし、 $N$ はBW変換の最大適用回数を示す固定値であり、例えば、 $N=5$ である)、LZ圧縮手法については $N+1$ の値を取るように決められている。次に、ステップS2a~S2cにおいて、圧縮手法`kind`に応じて場合わけを行ない、判定された圧縮手法がランレングス圧縮方法 (`kind=0`) の場合には、テストシーケンス伸張手段のスイッチ545、546、547はそれぞれ端子1、端子1、端子1に接続され、ステップS3において圧縮データをランレングス伸張手段542に送信し、ステップS4においてランレングス伸張手段542がランレングス伸張方法を用いて伸張する。

ステップS2において、判定された圧縮手法がBWTランレングス伸張方法 ( $0 < kind < N+1$ ) の場合には、テストシーケンス伸張装置のスイッチ545、546、547はそれぞれ端子1、端子2、端子2に接続され、ステップS5において圧縮データをランレングス伸張手段542に送信し、ステップS6においてランレングス伸張手段542が圧縮データを伸張する。次に、ステップS7において伸張されたデータと、逆BW変換の適用回数 $M (=kind)$ を繰り返し逆BW変換手段543に送信し、ステップS8において繰り返し逆BW変換手段543がデータを $M$ 回逆BW変換する。

ステップS2において、判定された圧縮手法がLZ圧縮方法 (`kind=N+1`) の場合には、テストシーケンス伸張手段のスイッチ545、547はそれぞれ端子2、端子3に接続され、ステップS9において圧縮データをLZ伸張手段544に送信し、ステップS10においてLZ伸張手段544が圧縮データをLZ伸張方法を用いて伸張する。最後に、ステップS11において伸張されたテストシーケンスを出力し、処理を終了する。

図9 3は図9 1に示すテストシーケンス伸張手段中の繰り返し逆BW変換手段5 4 3の構成の一例を示すブロック図である。この繰り返し逆BW変換手段5 4 3は、入力されたデータに対して逆BW変換を行なう逆BW変換手段5 4 8と、逆BW変換の適用回数をカウントするカウンタ5 4 9と、データの経路を選択する2つのスイッチ5 5 1、5 5 2とによって構成されている。

次に、この繰り返し逆BW変換手段5 4 3を使用してデータの逆BW変換を行なう場合の動作について説明する。図9 4は繰り返しBW変換手段5 4 3によりデータをBW変換するときのフローチャートである。まず、ステップS 1において、入力されたデータを逆BW変換手段5 4 8に送信し、逆BW変換の適用回数Mをカウンタ5 4 9に送信する。次に、ステップS 2において、逆BW変換の適用回数mを $m=M$ にセットし、カウンタ5 4 9を $i=0$ にリセットする。ステップS 3において、テストシーケンスを逆BW変換し、逆BW変換の終了信号によってカウンタ5 4 9は $i$ に1を加算する。ステップS 4において逆BW変換がm回行なわれたか否か、即ち、 $i=m$ を確認し、適用回数が $i=m$ でなければスイッチ5 5 1をオープンし、スイッチ5 5 2を端子1に接続して、ステップS 3の逆BW変換を繰り返す。適用回数が $i=m$ となれば、スイッチ5 5 1をクローズし、スイッチ5 5 2を端子2に接続して、次のステップS 5において、逆BW変換されたデータを出力し、処理を終了する。

ここで、ランレングス伸張、逆BW変換、LZ伸張について説明する。

初めに、ランレングス伸張手段5 4 2を用いて伸張を行なう場合の動作について説明する。図9 5はランレングス伸張方法を示すフローチャートである。まず、ステップS 1において圧縮データを1つ取得し、ステップS 2において圧縮データから初期値 initial と文字の連続回数nを取得する。次に、ステップS 3において初期値 initial を連続回数nだけコピーする。ステップS 4において圧縮データが残っているか否かを確認し、残っていればステップS 1～S 3を繰り返す。圧縮データが残っていなければ、ステップS 5で伸張されたデータを出力し、処理を終了する。

次に、逆BW変換手段5 4 3を用いて逆変換を行なう場合の動作について説明する。

図9 6は逆BW変換方法を示すフローチャートである。ここでは、BW変換の説明で用いた $L = \text{'c a r a a b'}$ 、 $I = 2$ の例を用いて説明する。まず、ステップS 1において変換データを1つ取得し、ステップS 2において変換データから得られる文字列 $L$ と番号 $I$ 、文字列の長さ $n$ をセットする。この例では、 $L = \text{'c a r a a b'}$ 、 $I = 2$ 、 $n = 6$ である。次に、ステップS 3において、取得した文字列 $L$ の文字をアルファベット順にソートし、文字列 $F$ を生成する。 $L = \text{'c a r a a b'}$ の例では図9 7に示すように $F = \text{'a a a b c r'}$ である。ステップS 4においては、文字列 $L$ と $F$ の各文字 $L[i]$ 、 $F[i]$ の対応を示す行列 $T$ を作成する。ここで、 $T$ は $L[T[i]] = F[i]$ を満たす行列である。また、もし文字列 $L$ の中で同じ文字 $ch$ が使われているときには、文字列 $L$ における $ch$ が文字列 $F$ における $ch$ と同じ順序となるようにそれぞれを対応させる。従って、 $L = \text{'c a r a a b'}$ 、 $F = \text{'a a a b c r'}$ の例では図9 7に示すように、 $T = [2\ 4\ 5\ 6\ 1\ 3]$ が得られる。

次に、ステップS 5において、カウンタ5 4 9を $i = 0$ にリセットする。ステップS 6においてカウンタ5 4 9に1を加算し、ステップS 7において文字列 $F$ 、番号 $I$ 、行列 $T$ から元の文字列 $S$ の $i$ 番目の文字 $S[i]$ を復元する。ここで、 $S[i]$ は $S[i] = F[T^{i-1}[I]]$ 、 $T^0[I] = I$ 、 $T^{i+1}[I] = T[T^i[I]]$ で表される。ステップS 8において、文字 $S[i]$ を出力する。つまり、まず $i = 1$ とすると、 $F[T^0[I]]$ となり、前記の通り $T^0[I] = I$ であり、この例では $I = 2$ であるから $F[2]$ となり、 $F$ の2番目 $a$ が $S[1] = a$ となり、次に $i = 2$ とすると、 $F[T^1[I]]$ となり、 $T^1[I] = T[T^0[I]] = T[2]$ となり、 $T$ の2番目は $T = 4$ であるから $F[4]$ となり、 $F$ の4番目は $b$ であるから $S[2] = b$ となり、 $i = 3$ では $F[T^2[I]]$ であり、 $T^2[I] = T[T^1[1]] = T[4]$ となり、 $T$ の4番目は $6$ であり、 $F[6]$ となり、 $F$ の6番目は $r$ であるから $S[3] = r$ となる。以下同様にして、逆BW変換される。

次に、ステップS 9において、文字列 $S$ の復元されていない文字があるか否か、即ち、 $i < n$ を確認し、復元されていない文字が残っていれば（ $i < n$ であれば）、ステップS 6～S 8を繰り返し、最後の文字まで復元されていれば（ $i =$

nであれば)、ステップS10に進む。ここで用いた例では、図98に示すように、 $S[1] = a$ 、 $S[2] = b$ 、 $S[3] = r$ 、 $S[4] = a$ 、 $S[5] = c$ 、 $S[6] = a$ となる。従って、元の文字列 $S = 'a b r a c a'$ が復元されたことになる。最後に、ステップS10でデータの残りを確認し、データが残っていればこれまでのステップS1からS9を繰り返し、入力データがなければ処理を終了する。

最後に、LZ伸張手段544を用いて伸張を行なう場合の動作について説明する。図99はLZ伸張方法を示すフローチャートである。まず、ステップS1において、伸張に用いられる辞書dicの初期化を行なう。次に、ステップS2において入力圧縮データから符号を1つ取得する。ステップS3において取得した符号で辞書の検索を行ない、ステップS4で符号を文字列stringに変換する。次に、ステップS5において、新しく生成された文字列stringを辞書dicに登録する。最後に、ステップS6で圧縮されたデータの残りを確認し、圧縮データが残っていればステップS2～S5を繰り返し、圧縮データがなければステップS7で伸張されたデータを出力し、処理を終了する。

図100は図81に示すテストシーケンス圧縮手段中の圧縮手法決定手段524の機能構成の一例を示すブロック図である。この圧縮手法決定手段524は、テストシーケンスに対しBW変換を適用する場合の最適な適用回数を計算するBW変換最適化手段554と、圧縮率のしきい値を格納するしきい値記憶手段555と、BW変換最適化手段554から得られた圧縮率の最大値としきい値記憶手段555のしきい値とを比較する圧縮率比較手段556と、圧縮率比較手段556から得られた比較の結果及びBW変換最適化手段554から得られたBW変換の最適な適用回数に応じてランレングス圧縮方法で圧縮するか、或いはBWTランレングス圧縮方法で圧縮するか、或いはLZ圧縮方法で圧縮するかを選択する圧縮手法選択手段557とによって構成されている。

次に、この圧縮手法決定手段524を使用してテストシーケンスに適用する最適な圧縮方法を決定する場合の動作について説明する。

図101はこの圧縮手法決定方法を示すフローチャートである。まず、ステップS1において、初期化BW変換の最大適用回数nを $n = N$  (例えば、 $N = 5$ )

にセットし、圧縮率のしきい値 $R_{th}$ を外部からある値（例えば、 $R_{th}=10$ ）にセットし、カウンタ $i$ 、圧縮率の最大値 $R_{max}$ 、BW変換の適用回数 $n$ を0にリセットし、環境変数の初期化を行なう。ステップS2では、入力されたテストシーケンスをBW変換最適化手段554に送信する。次に、ステップS3においてテストシーケンスを1回BW変換してカウンタ $i$ に1を加算し、ステップS4においてBW変換されたデータの遷移回数 $\phi_i$ を測定する。

次に、ステップS5において、得られた遷移回数 $\phi_i$ とBW変換の適用回数 $i$ とから式(4)を用いて圧縮率 $R_i$ の計算を行なう。ステップS6においてこれまでに得られた圧縮率の最大値 $R_{max}$ と新しく計算された圧縮率 $R_i$ とを比較し、新しく計算された圧縮率 $R_i$ の方が大きければ（ $R_i > R_{max}$ であれば）、ステップS7において圧縮率の最大値 $R_{max}$ を $R_{max}=R_i$ に更新し、BW変換の適用回数 $m$ をそのときの $m=i$ に更新する。

次に、ステップS8において、BW変換の適用回数がステップS1でセットしたある指定された回数 $n$ になったか否か、即ち、 $i < n$ を確認し、適用回数 $i$ が指定回数 $n$ より小さければステップS3～S7を繰り返し、適用回数 $i$ が指定回数 $n$ になったならば、ステップS9に進む。ステップS3～S8はBW変換最適化手段554によって行なわれる。即ち、BW変換最適化手段554は、ステップS3～S8をある指定された回数 $n$ だけ繰り返すことによって、圧縮率の最大値 $R_{max}$ とそのときのBW変換の適用回数 $m$ を取得する。次に、ステップS9において、BW変換最適化手段554で得られた圧縮率の最大値 $R_{max}$ としきい値記憶手段555に格納されている圧縮率のしきい値 $R_{th}$ を圧縮率比較手段556に送信し、それらを比較する。

ステップS10において圧縮率の最大値 $R_{max}$ がしきい値 $R_{th}$ 以下であれば、ステップS11において適用する圧縮手法をLZ圧縮方法と決定し、フラグ $flag$ を $flag=N+1$ にセットする。ステップS10においてしきい値 $R_{th}$ の方が最大値 $R_{max}$ より小さければ、次のステップS12においてBW変換の適用回数 $m$ を確認する。

ステップS12においてBW変換の適用回数 $m$ が0であれば、ステップS13においてテストシーケンスに適用する圧縮手法をランレングス圧縮方法と決定し



て  $flag = 0$  とし、BW変換の適用回数  $m$  が 0 でなければステップ S 1 4 においてテストシーケンスに適用する圧縮手法を BWTランレングス圧縮方法と決定して  $flag = m$  とする。ステップ S 1 1 ~ S 1 4 は、圧縮手法選択手段 5 5 7 によって行なわれる。最後に、圧縮手法選択手段 5 5 7 が、ステップ S 1 5 において圧縮方法を一意的に決定するフラグ  $flag$  を出力して処理を終了する。

以上において、圧縮率のしきい値  $R_{th}$  は、外部からセットすることもできるし、あらかじめ固定された値にセットしておくこともできる。外部からセットする場合には、しきい値記憶手段 5 5 5 は RAM として動作する。一方、あらかじめ固定値をセットしておく場合には、しきい値記憶手段 5 5 5 は ROM として動作し、このときしきい値入力はいらない。

図 1 0 2 は BWTランレングス圧縮手段の構成の一例を示すブロック図である。この BWTランレングス圧縮手段は、テストシーケンスに対して 1 回以上 BW変換を行なう繰り返し BW変換手段 5 6 1 と、BW変換されたデータに対してランレングス圧縮手法を用いて圧縮を行なうランレングス圧縮手段 5 6 2 とによって構成されている。

次に、この BWTランレングス圧縮手段を使用してテストシーケンスを情報損失なく圧縮する場合の動作について説明する。図 1 0 3 は BWTランレングス圧縮方法を示すフローチャートである。まず、ステップ S 1 において、入力されたテストシーケンスと BW変換の適用回数  $M (= kind)$  を繰り返し BW変換手段 5 6 1 に送信する。次に、ステップ S 2 において、BW変換の適用回数  $m$  を  $m = M$  にセットし、カウンタ  $i$  を  $i = 0$  にリセットする。ステップ S 3 において、テストシーケンスを BW変換し、カウンタ  $i$  に 1 を加算する。ステップ S 4 において BW変換が  $m$  回行なわれたか否か、即ち、 $i = m$  を確認し、適用回数  $i$  が  $m$  になるまでステップ S 3 を繰り返す。次に、ステップ S 5 において  $m$  回 BW変換されたデータをランレングス圧縮手段 5 6 2 に送信し、ステップ S 6 においてランレングス圧縮手法を用いて圧縮を行なう。最後に、ステップ S 7 において、圧縮されたデータを出力し、処理を終了する。

図 1 0 4 は BWTランレングス伸張手段の構成の一例を示すブロック図である。この BWTランレングス伸張手段は、入力された圧縮データをランレングス伸張

手法を用いて伸張するランレングス伸張手段563と、このランレングス伸張手段で伸張されたデータに対して1回以上逆BW変換を行なう繰り返し逆BW変換手段564とによって構成されている。

次に、このBWTランレングス伸張手段を使用して圧縮データを情報損失なく、元のテストシーケンスに伸張する場合の動作について説明する。図105はBWTランレングス伸張方法を示すフローチャートである。まず、ステップS1において、入力された圧縮データをランレングス伸張手段563に送信する。次に、ステップS2において、ランレングス伸張手段563が圧縮データを伸張する。ステップS3において、伸張されたデータと逆BW変換の適用回数 $M (=k i n d)$ を繰り返し逆BW変換手段564に送信する。次に、ステップS4において逆BW変換の適用回数 $m$ を $m=M$ にセットし、カウンタ $i$ を $i=0$ にリセットする。繰り返し逆BW変換手段564は、ステップS5においてデータを逆BW変換し、カウンタ $i$ に1を加算する。次に、ステップS6において逆BW変換が $m$ 回行なわれたか否か、即ち、 $i < m$ を確認し、逆BW変換の適用回数が $m$ になるまでステップS5を繰り返す。最後に、ステップS7において、復元されたテストシーケンスを出力し、処理を終了する。

以上、この発明の第2の実施例のテストパターン圧縮及び伸張方法、並びにテストパターン圧縮及び伸張装置について述べたが、この発明は、さらに、この発明によるテストパターン圧縮装置又は方法、並びにテストパターン伸張装置又は方法を使用した、テストパターンを高速に転送することを可能にする、ICの自動テストシステムをも包含している。この発明によるテストパターン伸張装置を備えたIC自動テストシステム（ICテスト）は、そのテスト本体のパターンジェネレータがテストパターンを保存しているディスク装置とテストプロセッサを介して接続されている環境、テスト本体のパターンジェネレータがテストパターンを保存しているディスクアレイ装置と直接接続されている環境、といった種々のテスト環境に対応できる。以下、テストパターン伸張装置を備えたIC自動テストシステムの実施例及び変形例、並びにテストパターン圧縮装置を備えたIC自動テストシステムの実施例及び変形例について図106～図113を参照して説明する。

図106はこの発明によるテストパターン伸張装置及びテストパターン圧縮装置を備えたIC自動テストシステムの第1の実施例の構成を示すブロック図である。このテストシステムは、テスト本体579内の制御を行なうテストプロセッサ570と、テストデータを格納し、テストされる半導体集積回路(CUT)571に印加する論理データを基本クロックに同期して発生する回路、つまり、記憶されている論理データが順次読出されて出力されるパターンジェネレータ572と、パターンジェネレータ572が持つメモリを補う回路であり、パターンジェネレータ572と高速なデータ転送が可能であるバッファメモリ573と、圧縮データを高速に伸張してパターンジェネレータ572に格納する1入力1出力のテストパターン伸張装置574と、パターンジェネレータ572から発生される論理データから異なる幅を持つパルスや他のパルスとの位相差を持つパルスを作る1ピン当たり1つのフォーマットコントロール575と、電気信号をCUT571に印加するドライバ及びCUT571の応答が供給されるコンパレータを有する1ピン当たり1つのピンエレクトロニクス576と、CUT571とのインタフェース577と、テスト本体制御用のワークステーション578とによって構成される。

制御用ワークステーション578は、テスト本体579を操作して、IC571の自動テストを制御するために用いられる。例えば、サン・マイクロシステムズ社(Sun Microsystems)のスパーク・コンピュータ(SPARC Computer)が使用できる。テストパターンはテストパターン圧縮装置581によって圧縮され、ワークステーション578のディスク装置582に保存されている。

CUT571のテストにおいてテストパターンをテスト本体579のパターンジェネレータ572にダウンロードする場合、圧縮されたテストパターンデータをワークステーション578及びテストプロセッサ570を通じてテストパターン伸張装置574に転送し、高速に伸張してパターンジェネレータ572に格納する。パターンジェネレータ572に入り切らないテストパターンは、圧縮されたままバッファメモリ573に格納し、必要なときにテストパターン伸張装置574で伸張される。この際、従来のテストパターンと同一配列とすることにより、パターンジェネレータ572として従来のものを用いることができる。以上の構

成を用いることによって、転送経路を通るデータ量を小さくすることができ、テストパターンのダウンロード時間の短縮が可能となる。

図107はこの発明によるテストパターン伸張装置を備えたIC自動テストシステムの第2の実施例の構成を示すブロック図である。このテストシステムは、テスト本体579内の制御を行なうテストプロセッサ570と、テストデータを格納し、テストされる半導体集積回路(CUT)571に印加する論理データを基本クロックに同期して発生する回路であるパターンジェネレータ572と、圧縮データを高速に伸張してパターンジェネレータ572に格納する1入力1出力のテストパターン伸張装置574と、テストパターンデータを保存し、テストパターンデータを高速に転送できる、ネットワーク584に接続されたディスクアレイ装置585と、パターンジェネレータ572から発生される論理データから異なる幅を持つパルスや他のパルスとの位相差を持つパルスを作る1ピン当たり1つのフォーマットコントロール575と、電気信号をCUT571に印加するドライバ及びCUT571の応答が供給されるコンパレータを有する1ピン当たり1つのピンエレクトロニクス576と、CUT571とのインタフェース577と、テスト本体制御用のワークステーション578とによって構成される。

制御用ワークステーション578は、テスト本体579を操作して、IC571の自動テストを制御するために用いられる。例えば、サン・マイクロシステムズ社(Sun Microsystems)のスパーク・コンピュータ(SPARC Computer)が使用できる。テストパターンはテストパターン圧縮装置(図示せず)によって圧縮されてネットワーク584を通じてディスクアレイ装置585に保存される。CUT571のテストにおいてディスクアレイ装置585に保存されたテストパターンをテスト本体579のパターンジェネレータ572にダウンロードする場合、圧縮されたテストパターンデータをディスクアレイ装置585からテストパターン伸張装置574に転送し、高速に伸張してパターンジェネレータ572に格納する。

以上の構成を用いることによって、転送経路を通るデータ量を小さくすることができ、その結果、テストパターンのダウンロード時間の短縮が可能となる。

次に、テスト本体の測定系について詳しく述べる。図108は、図106に示

す実施例において使用されたテスト本体 579 の測定系の詳細な構成の一例を示している。上記実施例で使用された測定系は、遅れ、幅等の時間を規定するタイミングパルスを発生するタイミングジェネレータ 572 a と、基本クロックに同期して伸張された論理データを発生するパターンジェネレータ 572 b と、このパターンジェネレータ 572 b から発生された論理データとタイミングジェネレータ 572 a からのクロック信号との 2 つの情報から異なる幅を持つパルスや他のパルスとの位相差を持つパルスを作る 1 ピン当たり 1 つのフォーマットコントロール 575 と、電気信号を CUT 571 に印加するドライバ及び CUT 571 の応答が供給されるコンパレータを有する 1 ピン当たり 1 つのピンエレクトロニクス 576 と、CUT 571 とのインタフェース 577 とによって構成されている。

CUT 571 のテストにおいて、タイミングジェネレータ 572 a が発生するクロックに応じて、パターンジェネレータ 572 b が CUT 571 に印加する論理データを発生し、これを基にフォーマットコントロール 575 がパルスを形成する。フォーマットコントロール 575 で発生したパルスは、ピンエレクトロニクス 576 のドライバで設定レベルの信号に変換され、インタフェース 577 を介して CUT 571 に印加される。CUT 571 からの応答はピンエレクトロニクス 576 のコンパレータで取得され、パターンジェネレータ 572 b から出力される期待値データと比較される。

図 109 はこの発明によるテストパターン伸張装置及びテストパターン圧縮装置を備えた IC 自動テストシステムの第 3 の実施例の構成を示すブロック図である。このテストシステムは、テスト本体 579 内の制御を行なうテストプロセッサ 570 と、テストデータを格納し、テストされる半導体集積回路 (CUT) 571 に印加する論理データを基本クロックに同期して発生する回路、つまり、記憶論理データを読み出して出力するパターンジェネレータ 572 と、パターンジェネレータ 572 が持つメモリを補う回路であり、パターンジェネレータ 572 と高速なデータ転送が可能であるバッファメモリ 573 と、パターンジェネレータ 572 から出力される圧縮データを、各ピンに対して並列に高速に伸張する 1 ピン当たり 1 つのテストシーケンス伸張装置 574 と、パターンジェネレータ 57

2から発生される論理データから異なる幅を持つパルスや他のパルスとの位相差を持つパルスを作る1ピン当たり1つのフォーマットコントロール575と、電気信号をCUT571に印加するドライバ及びCUT571の応答が供給されるコンパレータを有する1ピン当たり1つのピンエレクトロニクス576と、CUT571とのインタフェース577と、テスト本体制御用のワークステーション578とによって構成される。

制御用ワークステーション578は、テスト本体579を操作して、IC571の自動テストを制御するために用いられる。例えば、サン・マイクロシステムズ社(Sun Microsystems)のスパーク・コンピュータ(SPARC Computer)が使用できる。テストパターンはテストパターン圧縮装置581によって圧縮され、ワークステーション578のディスク装置582に保存されている。

CUT571のテストにおいてテストパターンをテスト本体579のパターンジェネレータ572にダウンロードする場合、圧縮されたテストパターンデータをワークステーション578及びテストプロセッサ570を通じてパターンジェネレータ572に格納する。パターンジェネレータ572に入り切らないテストパターンは、圧縮されたままバッファメモリ573に格納し、必要なときにパターンジェネレータ572に転送される。また、パターンジェネレータ572から出力される圧縮データは各ピン毎にテストシーケンス伸張装置574に転送され、高速に伸張されてそれぞれフォーマットコントロール575に送られる。

以上の構成を用いることによって、転送経路を通るデータ量を小さくすることができるから、テストパターンのダウンロード時間の短縮が可能となる。

図110はこの発明によるテストパターン伸張装置を備えたIC自動テストシステムの第4の実施例の構成を示すブロック図である。このテストシステムは、テスト本体579内の制御を行なうテストプロセッサ570と、テストデータを格納し、テストされる半導体集積回路(CUT)571に印加する論理データを基本クロックに同期して発生する回路であるパターンジェネレータ572と、パターンジェネレータ572から出力される圧縮データを、各ピンに対して並列に高速に伸張する1ピン当たり1つのテストパターン伸張装置574と、テストパターンデータを保存し、テストパターンデータを高速に転送できる、ネットワー

クに接続されたディスクアレイ装置 585 と、テストパターン伸張装置 574 から出力される論理データから異なる幅を持つパルスや他のパルスとの位相差を持つパルスを作る 1 ピン当たり 1 つのフォーマットコントロール 575 と、電気信号を CUT 571 に印加するドライバ及び CUT 571 の応答が供給されるコンパレータを有する 1 ピン当たり 1 つのピンエレクトロニクス 576 と、CUT 571 とのインタフェース 577 と、テスト制御用のワークステーション 578 とによって構成される。

制御用ワークステーション 578 は、テスト本体 579 を操作して、IC 571 の自動テストを制御するために用いられる。例えば、サン・マイクロシステムズ社 (Sun Microsystems) のスパーク・コンピュータ (SPARC Computer) が使用できる。テストパターンはテストパターン圧縮装置 (図示せず) によって圧縮されてネットワーク 584 を通じてディスクアレイ装置 585 に保存されている。

CUT 571 のテストにおいてディスクアレイ装置 585 に保存されたテストパターンをテスト本体 579 のパターンジェネレータ 572 にダウンロードする場合、圧縮されたテストパターンデータをディスクアレイ装置 585 からパターンジェネレータ 572 に格納する。パターンジェネレータ 572 から出力される圧縮データは各ピン毎にテストシーケンス伸張装置 574 に転送され、高速に伸張されてそれぞれフォーマットコントロール 575 に送られる。

以上の構成を用いることによって、転送経路を通るデータ量を小さくすることができ、よって、テストパターンのダウンロード時間の短縮が可能になる。

次に、テスト本体の測定系について詳しく述べる。図 111 は、図 109 又は図 110 に示す実施例において使用されたテスト本体 579 の測定系の詳細な構成の一例を示している。上記実施例で使用された測定系は、遅れ、幅等の時間を規定するタイミングパルスを発生するタイミングジェネレータ 572a と、基本クロックに同期して伸張された論理データを発生するパターンジェネレータ 572b と、圧縮データを各ピン毎に並列に伸張する 1 ピン当たり 1 つのテストシーケンス伸張装置 574 と、このテストシーケンス伸張装置 574 で伸張された論理データとタイミングジェネレータ 572a からのクロック信号との 2 つの情報から異なる幅を持つパルスや他のパルスとの位相差を持つパルスを作る 1 ピン当

たり1つのフォーマットコントロール575と、電気信号をCUT571に印加するドライバ及びCUT571の応答が供給されるコンパレータを有する1ピン当たり1つのピンエレクトロニクス576と、CUT571とのインタフェース577とによって構成されている。

CUT571のテストにおいて、タイミングジェネレータ572aが発生するクロックに応じて、パターンジェネレータ572bから出力された圧縮データを基にテストシーケンス伸張装置574がCUT571に印加する論理データを発生し、これを基にフォーマットコントロール575がパルスを形成する。フォーマットコントロール575で発生したパルスは、ピンエレクトロニクス576のドライバで電気信号に変換され、インタフェース577を介してCUT571に印加される。CUT571からの応答はピンエレクトロニクス576のコンパレータで取得され、同じくテストパターン伸張装置574から出力される期待値データと比較される。

以上のような構成を用いることにより、圧縮されたテストパターンをリアルタイムに伸張し、伸張した論理データを用いてリアルタイムにCUT71のテストを行なうことができる。さらに、圧縮されたデータをパターンジェネレータ572bに保存することにより、メモリを節約することもできる。

図112はこの発明によるテストパターン圧縮装置を備えたIC自動テストシステムの第5の実施例の構成を示すブロック図である。このシステムは、コンピュータ601のCPUメモリバス587に接続されたテストパターン圧縮装置581を備えている。ネットワーク584を介して他のコンピュータから転送されたテストパターンは、I/Oコントローラ588、I/Oバス589、バスアダプタ591、CPUメモリバス587を通じてテストパターン圧縮装置581に送られ、情報損失なく圧縮されて、CPUメモリバス587、バスアダプタ591、I/Oバス589、I/Oコントローラ592を介して、ディスク装置582や、ネットワーク584に接続された他のコンピュータのディスクに保存される。また、テストパターンがメインメモリ593内にある場合には、このテストパターンはCPUメモリバス587を通じてテストパターン圧縮装置581に送られ、情報損失なく圧縮されて、CPUメモリバス587、バスアダプタ591、



I/Oバス589、I/Oコントローラ592を通して、ディスク装置582や、ネットワーク584に接続された他のコンピュータのディスクに保存される。

ディスク装置582に保存された圧縮データは、I/Oコントローラ592及び593、I/Oバス589を通じてテスト本体579に転送される。転送されるテストパターンは圧縮されており、短い転送時間しか必要としない。従って、テスト本体579で圧縮データを高速に伸張できれば、テストシステムの稼働率を向上させることができる。

図113はこの発明によるテストパターン圧縮装置を備えたIC自動テストシステムの第6の実施例の構成を示すブロック図である。このシステムは、ディスク装置582の直前にテストパターン圧縮装置581を備えている。ネットワーク584を介して他のコンピュータから転送されたテストパターンは、I/Oコントローラ588及び592、I/Oバス589を介してテストパターン圧縮装置581に送られ、情報損失なく圧縮されて、ディスク装置582に保存される。また、テストパターンがメインメモリ593内にある場合には、このテストパターンはCPUメモリバス587、バスアダプタ591、I/Oバス589、及びI/Oコントローラ592を通してテストパターン圧縮装置581に送られ、情報損失なく圧縮されて、ディスク装置582に保存される。ディスク装置582に保存された圧縮データは、I/Oコントローラ592、I/Oバス589を介してテスト本体579に転送される。転送されるテストパターンは圧縮されており、短い転送時間しか必要としない。このため、テストシステムで圧縮データを高速に伸張できれば、テストシステムの稼働率を向上させることができる。

上述においては、データ圧縮の際に圧縮率がしきい値より大である場合には、LZ圧縮方法で圧縮したが、Huffman圧縮方法、算術符号化圧縮方法などの他の圧縮方法を用いてもよいことは勿論である。

この発明によれば、受信された入力データパターンをそのデータ構造や統計的性質により、複数のブロックの何れかに分配し、その各ブロックに対して適切な圧縮方法を適用するので、異なるデータ構造を持つデータパターンからなるデータを効率よく圧縮することが可能となる。

また、この発明によれば、入力されたテストパターンデータを各ピン毎のテス

トシーケンスに分割し、それぞれのテストシーケンスに対して適切な圧縮手法を適用するので、テストパターンデータの効率のよい圧縮が可能となる。

図114は、この発明によるテストパターン圧縮方法及び装置を用いて、実際のデバイステストに用いられるテストパターンを圧縮し、圧縮率の測定を行なった結果を示している。テストパターンのサンプルとして、5つのテストパターン（テストシーケンスの長さ15000）を用いた。図中、K1、K2はCISCマイコン（100ピン）のテストパターン、A1、A2がディスクコントローラ（144ピン）のテストパターン、S1がRISCマイコン（144ピン）のテストパターンである。図114には、最も一般的に使われている圧縮手法であるLZW（UNIX compressなどで用いられている圧縮手法）との比較を示す。K1のテストパターン以外については、この発明のテストパターン圧縮方法及び装置の方がよい圧縮率を示しており、特に、S1のテストパターンについては1500:1以上の圧縮率が得られている。

また、この発明のテストパターン伸張装置を用いることにより、半導体集積回路の自動テストを行なう自動テストシステムにおいて、高速なデータ伸張が可能であるため、テストパターンのダウンロードに要する時間を短縮することができる。

図115は、この発明のテストパターン伸張装置による圧縮データの伸張速度を測定した結果を示している。図115において、LZW圧縮手法の伸張速度も同様に測定し、この発明のテストパターン伸張装置との比較を行なった。この図から、この発明のテストパターン伸張装置は従来のLZW圧縮手法に比べ、約2倍高速なデータ伸張が可能であることが分かる。

この発明はBWTランレングス圧縮装置を用いることにより、擬似ランダム系列（Pseudorandom Noise sequence, PN sequence）の1つであるM系列

（Maximum length sequence）を効率的に圧縮することができる。図116は、BWTランレングス圧縮装置を用いてM系列の圧縮を行なったときの圧縮率の結果を示している。この図では、BW変換を1回適用したときの結果を×で示し、BW変換を2回適用したときの結果を○で示している。また、破線はBWTランレングス圧縮装置で得られる圧縮率の上限値を示している。

図 1 1 6 に示すように、M 系列については、この発明の BWT ランレングス圧縮装置を用いて、BW 変換を 2 回適用することにより、上限に近い圧縮率を得ることができる。さらに、M 系列を生成する線形帰還シフトレジスタ (Linear Feedback Shift Register, LFSR) のステージ数が大きくなるに従って圧縮率も向上し、最大でおよそ 700 : 1 という圧縮率が得られている。

このように、BW 変換を複数回適用した後、ランレングス圧縮手法で圧縮することにより、高い圧縮率を得ることが可能である。

## 請 求 の 範 囲

1. 入力されたデータパターンを、そのデータの構造に応じて複数の圧縮用ブロックの何れかに分配して分割する分割ステップと、

上記複数の圧縮用ブロックに分割されたデータを、各ブロックに適した圧縮方法で圧縮する圧縮ステップと、

上記圧縮ステップで圧縮された圧縮データを、その圧縮方法に応じて複数の伸張用ブロックに分割する分割ステップと、

各伸張用ブロックの圧縮データに対してその圧縮方法と対応した伸張方法によりデータ伸張する伸張ステップ

とを含むことを特徴とするデータパターンの圧縮及び伸張方法。

2. 入力されたデータパターンを、そのデータの統計的な性質に応じて複数の圧縮用ブロックの何れかに分配して分割する分割ステップと、

上記複数の圧縮用ブロックに分割されたデータを、各ブロックに適した圧縮方法で圧縮する圧縮ステップと、

上記圧縮ステップで圧縮された圧縮データを、その圧縮方法に応じて複数の伸張用ブロックに分割する分割ステップと、

各伸張用ブロックの圧縮データに対してその圧縮方法と対応した伸張方法によりデータ伸張する伸張ステップ

とを含むことを特徴とするデータパターンの圧縮及び伸張方法。

3. 入力されたデータパターンのデータの遷移回数を計算する遷移回数計数ステップと、

上記入力されたデータパターンにおける記号の出現確率を計測し、その記号の出現確率からデータのエントロピーを計算するエントロピー計算ステップと、

上記入力データパターンのデータの遷移回数を遷移回数しきい値と比較すると共に、そのデータのエントロピーをエントロピーしきい値と比較する比較ステップと、

上記入力データパターンを、上記比較結果に応じて複数の圧縮用ブロックの何

れかに分配して分割する分割ステップと、

上記複数の圧縮用ブロックに分割されたデータを、各ブロックに適した圧縮方法を適用してデータ圧縮する圧縮ステップと、

上記圧縮ステップで圧縮された圧縮データを、その圧縮方法に応じて複数の伸張用ブロックに分割する分割ステップと、

各伸張用ブロックの圧縮データに対してその圧縮方法と対応した伸張方法によりデータ伸張する伸張ステップ

とを含むことを特徴とするデータパターンの圧縮及び伸張方法。

4. 入力されたデータパターンに対してデータ圧縮を行なう圧縮方法において、

データの構造に応じて入力データパターンを複数のブロックの何れかに分配して分割する分割ステップと、

上記複数のブロックに分割されたデータを、各ブロックに適した圧縮方法を適用してデータ圧縮する圧縮ステップ

とを含むことを特徴とするデータパターン圧縮方法。

5. 上記分割ステップは、上記入力パターンのデータの遷移回数を計数するステップと、上記計数した遷移回数をしきい値と比較する比較ステップとを含み、

上記分割ステップは、上記比較の結果に応じて複数のブロックの何れかに上記データパターンを分配するステップを含む

ことを特徴とする請求の範囲第4項に記載のデータパターン圧縮方法。

6. 上記圧縮ステップは、上記遷移回数がしきい値より小であるブロックに対してランレングス圧縮法を適用し、しきい値より大のブロックに対しては他の圧縮法を適用することを特徴とする請求の範囲第5項に記載のデータパターン圧縮方法。

7 上記分割されたブロック中のデータの周期性が大であるブロックに対してブrouズ ウィーラー (Burrows Wheeler) 変換 (以下、BW変換と称す) を行な

うステップを含み、上記BW変換されたデータに対しては上記圧縮ステップでランレングス圧縮法を適用することを特徴とする請求の範囲第4項に記載のデータパターン圧縮方法。

8 入力したデータパターンに対して圧縮を行なう圧縮方法において、

データの統計的な性質に応じて入力データパターンを複数のブロックの何れかに分配して分割する分割ステップと、

上記複数のブロックに分割されたデータを、各ブロックに適した圧縮方法を適用してデータ圧縮する圧縮ステップ

とを含むことを特徴とするデータパターン圧縮方法。

9. 上記分割ステップは、上記入力データパターンにおける記号の出現確率を計測し、その記号の出現確率からデータのエントロピーを計算するステップと、上記データのエントロピーをしきい値と比較する比較ステップと、上記比較の結果に応じて複数の圧縮用ブロックの何れかに上記入力データパターンを分配するステップとを含むことを特徴とする請求の範囲第8項に記載のデータパターン圧縮方法。

10. 上記分割されたブロック中のエントロピーがしきい値より小であるブロックに対しては上記圧縮ステップで Huffman 圧縮法を適用することを特徴とする請求の範囲第9項に記載のテストパターン圧縮方法。

11. 上記分割されたブロック中のエントロピーがしきい値より小であるブロックに対して上記圧縮ステップで LZ 圧縮法を適用することを特徴とする請求の範囲第9項に記載のデータパターン圧縮方法。

12. 上記分割されたブロック中のエントロピーがしきい値より小であるブロックに対して上記圧縮ステップで算術符号化圧縮法を適用することを特徴とする請求の範囲第9項に記載のデータパターン圧縮方法。

13. 入力されたデータパターンに対してデータ圧縮を行なう圧縮方法において、入力されたデータパターンのデータの遷移回数を計算する遷移回数計数ステップと、

上記入力されたデータパターンにおける記号の出現確率を計測し、その記号の出現確率からデータのエントロピーを計算するエントロピー計算ステップと、

上記入力データパターンのデータの遷移回数を遷移回数しきい値と比較すると共に、そのデータのエントロピーをエントロピーしきい値と比較する比較ステップと、

上記比較結果に応じて複数の圧縮用ブロックの何れかに上記入力されたデータパターンを分配して分割する分割ステップと、

上記複数の圧縮用ブロックに分割されたデータを、各ブロックに適した圧縮方法を適用してデータ圧縮する圧縮ステップ

とを含むことを特徴とするデータパターン圧縮方法。

14. 上記圧縮ステップにおいては、上記遷移回数がしきい値以下のブロックに対し、ランレングス圧縮法を適用し、遷移回数がしきい値より大で、かつエントロピーがしきい値以下のブロックに対し、BW変換を少なくとも1回行った後、ランレングス圧縮法を適用してデータ圧縮を行うことを特徴とする請求の範囲第13項に記載のデータパターン圧縮方法。

15. 環境パラメータを入力するステップと、入力された環境パラメータを用いて上記しきい値を計算するステップとをさらに含むことを特徴とする請求の範囲第5項、第9項及び第13項のいずれかに記載のデータパターン圧縮方法。

16. 可能性のある各データパターンについてしきい値を計算するステップと、上記計算されたしきい値を用いてデータパターンの圧縮率を見積もり、圧縮率が最大となるようにしきい値の最適化を行なうステップとをさらに含み、上記最適化されたしきい値を上記比較ステップに用いることを特徴とする請求の範囲第5

項、第 9 項及び第 13 項のいずれかに記載のテストパターン圧縮方法。

17. 上記分割ステップは、

入力データパターンに対し、BW変換を適用するステップと、

上記BW変換されたデータの遷移回数を計数するステップと、

上記遷移回数から圧縮率を計算するステップと、

上記圧縮率の最大値及びその圧縮率が最大となるBW変換回数を求めるステップと、

圧縮率の最大値と圧縮率のしきい値とを比較するステップと、

その比較結果に応じて入力データパターンを複数のブロックに分配して分割するステップ

とからなることを特徴とする請求の範囲第4項に記載のデータパターン圧縮方法。

18. 上記圧縮ステップは、

上記しきい値以上のブロックに対し、LZ圧縮法、Huffman圧縮法、算術符号化圧縮法などの圧縮法を適用するステップと、

上記しきい値以下のブロックに対しては、上記最大圧縮率となるBW変換回数だけ、BW変換を行った後、ランレングス圧縮を適用するステップ

とからなることを特徴とする請求の範囲第17項に記載のデータパターン圧縮方法。

19. 上記入力データパターンは半導体集積回路のテストパターンにおける各ピン対応のパターンであることを特徴とする請求の範囲第4項乃至第18項のいずれかに記載のデータパターン圧縮方法。

20. 入力された圧縮データに対して伸張を行なう伸張方法において、

入力された圧縮データの圧縮方法に応じて圧縮データを複数のブロックに分割する分割ステップと、



上記複数のブロックに分割されたデータを、各ブロックの圧縮方法と対応した伸張方法によりデータ伸張する伸張ステップ  
とを含むことを特徴とするデータパターン伸張方法。

21. 上記分割ステップは、入力された圧縮データを、ランレングス圧縮法で圧縮されたデータと、その他の圧縮法で圧縮されたデータとに分割し、上記伸張ステップにおいて上記ランレングス圧縮法で圧縮されたデータに対してはランレングス伸張法により伸張することを特徴とする請求の範囲第20項に記載のデータパターン伸張方法。

22. 上記分割ステップにおいては、入力された圧縮データを、直接ランレングス圧縮法で圧縮されたデータと、BW変換後にランレングス圧縮法で圧縮されたデータとに分割し、

上記伸張ステップにおいては上記直接ランレングス圧縮法で圧縮されたデータに対して、ランレングス伸張法を適用してデータ伸張して出力し、上記BW変換後にランレングス圧縮法で圧縮されたデータに対しては、ランレングス伸張法を適用した後、その伸張されたデータをBW逆変換して出力することを特徴とする請求の範囲第20項に記載のデータパターン伸張方法。

23. 上記分割ステップにおいては、入力された圧縮データ中にLZ圧縮法で圧縮されたデータがあれば、これを他の圧縮データから分割し、

上記伸張ステップにおいてはLZ圧縮法で圧縮された圧縮データに対して、LZ伸張法を適用してデータ伸張して出力することを特徴とする請求の範囲第20項に記載のデータパターン伸張方法。

24. 上記分割ステップにおいては、入力された圧縮データを、Huffman圧縮法で圧縮されたデータと、その他の圧縮法で圧縮されたデータとに分割し、

上記伸張ステップにおいてはHuffman圧縮法で圧縮されたデータに対し、Huffman伸張法を適用することを特徴とする請求の範囲第20項に記載のデータ

パターン伸張方法。

25. 上記分割ステップにおいては、入力された圧縮データを、LZ圧縮法で圧縮されたデータと、その他の圧縮法で圧縮されたデータとに分割し、

上記伸張ステップにおいては上記LZ圧縮法で圧縮されたデータに対し、LZ伸張法を適用することを特徴とする請求の範囲第20項に記載のデータパターン伸張方法。

26. 上記分割ステップにおいては、入力された圧縮データを、算術符号化圧縮法で圧縮されたデータと、その他の圧縮法で圧縮されたデータとに分割し、

上記伸張ステップにおいては上記算術符号化圧縮法で圧縮されたデータに対して、算術符号化伸張法を適用することを特徴とする請求の範囲第20項に記載のデータパターン伸張方法。

27. 上記分割ステップにおいては、入力された圧縮データを、直接ランレングス圧縮法で圧縮されたデータと、BW変換後にランレングス圧縮法で圧縮されたデータと、その他の圧縮法で圧縮されたデータとに分割し、

上記伸張ステップにおいては、上記直接ランレングス圧縮法で圧縮されたデータに対して、ランレングス伸張法を適用してデータ伸張して出力し、上記BW変換後にランレングス圧縮法で圧縮されたデータに対しては、ランレングス伸張法を適用した後、その伸張されたデータを、圧縮時のBW変換回数だけ、BW逆変換して出力し、上記他の圧縮法で圧縮されたデータに対しては、その圧縮法と対応した伸張法を適用してデータ伸張して出力することを特徴とする請求の範囲第20項に記載のデータパターン伸張方法。

28. 上記入力圧縮データは半導体集積回路のテストパターンを圧縮したデータであり、上記伸張ステップから出力される伸張データは上記テストパターンのピン対応のパターンであることを特徴とする請求の範囲第20項乃至第27項のいずれかに記載のデータパターン伸張方法。

29. 圧縮法を異にする複数の圧縮手段と、

入力されたテストパターンを被試験集積回路の各ピン毎のテストシーケンスに分割する分割手段と、

各テストシーケンスのデータの構造に応じて複数の圧縮手段から適切なものを選択して対応するテストシーケンスをピン毎にデータ圧縮させる圧縮手法決定手段

とを具備することを特徴とするテストパターン圧縮装置。

30. 上記圧縮手法決定手段と、上記複数の圧縮手段は、上記被試験集積回路の各ピン毎に設けられ、上記分割手段は上記テストシーケンスを対応するピンの圧縮手法決定手段に供給することを特徴とする請求の範囲第29項に記載のテストパターン圧縮装置。

31. 上記複数の圧縮手段は、テストシーケンスに対しランレングス圧縮方法で圧縮するランレングス圧縮手段と、テストシーケンスに対し少くとも1回のBW変換を適用するBW変換手段を備え、かつBW変換出力を上記ランレングス圧縮手段へ供給するBWTランレングス圧縮手段とを具備することを特徴とする請求の範囲第29項又は第30項に記載のテストパターン圧縮装置。

32. 上記複数の圧縮手段に、上記ランレングス圧縮手段、上記BWTランレングス圧縮手段以外の圧縮手段を具備することを特徴とする請求の範囲第29項又は第30項に記載のテストパターン圧縮装置。

33. 上記圧縮手法決定手段は、

入力されたテストシーケンスに対し、BW変換を適用する場合の適切な適用回数を計算するBW変換最適化手段と、

圧縮率のしきい値を格納するしきい値記憶手段と、

上記BW変換最適化手段から得られる圧縮率の最大値と、上記しきい値記憶手

段のしきい値とを比較する圧縮率比較手段と、

この圧縮率比較手段から得られた比較の結果及び上記BW変換最適化手段から得られたBW変換の適切な適用回数に応じてテストシーケンスを圧縮する圧縮手段を選択する圧縮手法選択手段

とを具備することを特徴とする請求の範囲第31項又は第32項に記載のテストパターン圧縮装置。

34. 入力されたテストパターンを被試験集積回路の各ピン毎のテストシーケンスに分割するステップと、

分割された各テストシーケンスのデータの構造に応じて適切な圧縮手法を選択してテストシーケンスをピン毎に圧縮するステップ

とを含むことを特徴とするテストパターン圧縮方法。

35. 入力されたテストパターンを被試験集積回路の各ピン毎のテストシーケンスに分割するステップと、

分割された各テストシーケンスに対して並列に、テストシーケンスのデータの構造に応じて適切な圧縮手法を選択してテストシーケンスをピン毎に圧縮するステップ

とを含むことを特徴とするテストパターン圧縮方法。

36. 入力されたテストシーケンスに対して適応する適切な圧縮手法を決定するステップと、

ランレングス圧縮手法、或いは、BW変換を1回以上適用した後、ランレングス圧縮手法を適用する圧縮手法（以下、BWTランレングス圧縮手法と称す）、或いは、LZ圧縮手法、Huffman圧縮法、算術符号化圧縮法などの他の圧縮法のうちのいずれか1つを適用してテストシーケンスの圧縮を行なうステップ

とをさらに含むことを特徴とする請求の範囲第34項又は第35項に記載のテストパターン圧縮方法。

37. 上記テストシーケンスに対し、BW変換を適用するステップと、  
上記BW変換されたデータの遷移回数を測定するステップと、  
上記遷移回数から圧縮率を計算するステップと、  
圧縮率の最大値及びその圧縮率が最大となるBW変換の回数を求めるステップと、

圧縮率の最大値と圧縮率のしきい値とを比較するステップと、  
その比較の結果に応じてランレングス圧縮手法で圧縮するか、或いは、BWTランレングス圧縮手法で圧縮するか、或いは、他の圧縮方法で圧縮するかを選択するステップ

とをさらに含むことを特徴とする請求の範囲第36項に記載のテストパターン圧縮方法。

38. 入力された圧縮データを被試験集積回路の各ピン毎の圧縮データに分割する圧縮データ分割手段と、

各分割された圧縮データに対して、圧縮手法を示すフラグに応じた伸張方法を選択し、適用する複数のテストシーケンス伸張手段

とを具備することを特徴とするテストパターン伸張装置。

39. 上記複数のテストシーケンス伸張手段は上記被試験集積回路の各ピン毎に設けられ、

上記圧縮データ分割手段は、上記分割した圧縮データを対応するテストシーケンス伸張手段へ供給し、

上記複数のテストシーケンス伸張手段は並列に動作する

ことを特徴とする請求の範囲第38項に記載のテストパターン伸張装置。

40. 上記圧縮データのフラグによりランレングス圧縮手法か、BWTランレングス圧縮手法か、その他の圧縮手法かを判定する圧縮手法判定手段と、

圧縮データに対して、ランレングス伸張手法を用いて伸張を行なうランレングス伸張手段と、

上記ランレングス伸張手段によって伸張されたデータに対して逆BW変換を1回以上適用してデータの変換を行なう繰り返し逆BW変換手段と、

圧縮データに対して他の伸張手法を用いて伸張を行なう他の伸張手段

とをさらに具備することを特徴とする請求の範囲第38項又は第39項に記載のテストパターン伸張装置。

41. 入力された圧縮データを被試験集積回路の各ピン毎の圧縮データに分割するステップと、

各分割された圧縮データを、そのフラグに応じた圧縮手法に対応する伸張方法により伸張するステップ

とを含むことを特徴とするテストパターン伸張方法。

42. 上記伸張ステップは各ピン毎に並列に行なうことを特徴とする請求の範囲第41項に記載のテストパターン伸張方法。

43. 上記伸張ステップで用いる伸張方法はランレングス伸張方法か、ランレングス伸張方法により伸張した後、逆BW変換する伸張方法かのいずれかであることを特徴とする請求の範囲第41項又は第42項に記載のテストパターン伸張方法。

44. 上記伸張ステップで用いる伸張方法に、さらに他の伸張方法を含むことを特徴とする請求の範囲第43項に記載のテストパターン伸張方法。

45. 圧縮法を異にする複数の圧縮手段と、

入力されたテストパターンを被試験集積回路の各ピン毎のテストシーケンスに分割する分割手段と、

各テストシーケンスのデータの構造に応じて複数の圧縮手段から適切なものを選択して対応するテストシーケンスをピン毎にデータ圧縮させる圧縮手法決定手段と、

入力された圧縮データを被試験集積回路の各ピン毎の圧縮データに分割する圧縮データ分割手段と、

各分割された圧縮データに対して、圧縮手法を示すフラグに応じた伸張方法を選択し、適用する複数のテストシーケンス伸張手段

とを具備することを特徴とするテストパターン圧縮及び伸張装置。

46. 入力されたテストパターンを被試験集積回路の各ピン毎のテストシーケンスに分割するステップと、

分割された各テストシーケンスのデータの構造に応じて適切な圧縮手法を選択してテストシーケンスをピン毎に圧縮するステップと、

入力された圧縮データを被試験集積回路の各ピン毎の圧縮データに分割するステップと、

各分割された圧縮データを、そのフラグに応じた圧縮手法に対応する伸張方法により伸張するステップ

とを含むことを特徴とするテストパターン圧縮及び伸張方法。

47. 入力されたテストパターンを被試験集積回路の各ピン毎のテストシーケンスに分割するステップと、

分割された各テストシーケンスに対して並列に、テストシーケンスのデータの構造に応じて適切な圧縮手法を選択してテストシーケンスをピン毎に圧縮するステップと、

入力された圧縮データを被試験集積回路の各ピン毎の圧縮データに分割するステップと、

各分割された圧縮データを、そのフラグに応じた圧縮手法に対応する伸張方法により伸張するステップ

とを含むことを特徴とするテストパターン圧縮及び伸張方法。

48. 前記請求の範囲第29項に記載のテストパターン圧縮装置と、

圧縮されたテストパターンデータを保存するための大容量記憶装置と、

テストパターンデータを格納し、テストパターンを発生するパターンジェネレータと、

圧縮されたテストパターンデータを情報の損失なく完全に元のテストパターンに復元するテストパターン伸張手段

とを具備することを特徴とする半導体集積回路を自動的に試験する半導体集積回路自動テストシステム。

49. 前記テストパターン伸張手段は、各ピン毎に圧縮されたテストシーケンスデータを、各ピンに対して並列に情報の損失なく完全に元のテストパターンに復元する複数のテストシーケンス伸張手段より構成されていることを特徴とする請求の範囲第48項に記載の半導体集積回路自動テストシステム。

50. テストパターンを圧縮する手段と、

圧縮されたテストパターンデータを保存するための大容量記憶装置と、

テストパターンデータを格納し、テストパターンを発生するパターンジェネレータと、

前記請求の範囲第45項に記載のテストパターン圧縮及び伸張装置

とを具備することを特徴とする半導体集積回路を自動的に試験する半導体集積回路自動テストシステム。



図 1

	ビ ン 1	ビ ン 2	ビ ン 3	ビ ン 4	ビ ン 5	ビ ン 6	
パターン1	0	0	1	X	X	X	テストベクトル
パターン2	0	0	X	1	X	1	
パターン3	0	X	X	1	X	X	
パターン4	0	X	1	1	X	1	
パターン5	0	X	1	1	X	X	テストシーケンス
パターン6	0	X	0	X	X	0	

1 : ハイレベル信号  
 0 : ローレベル信号  
 X : ドントケア

2/74

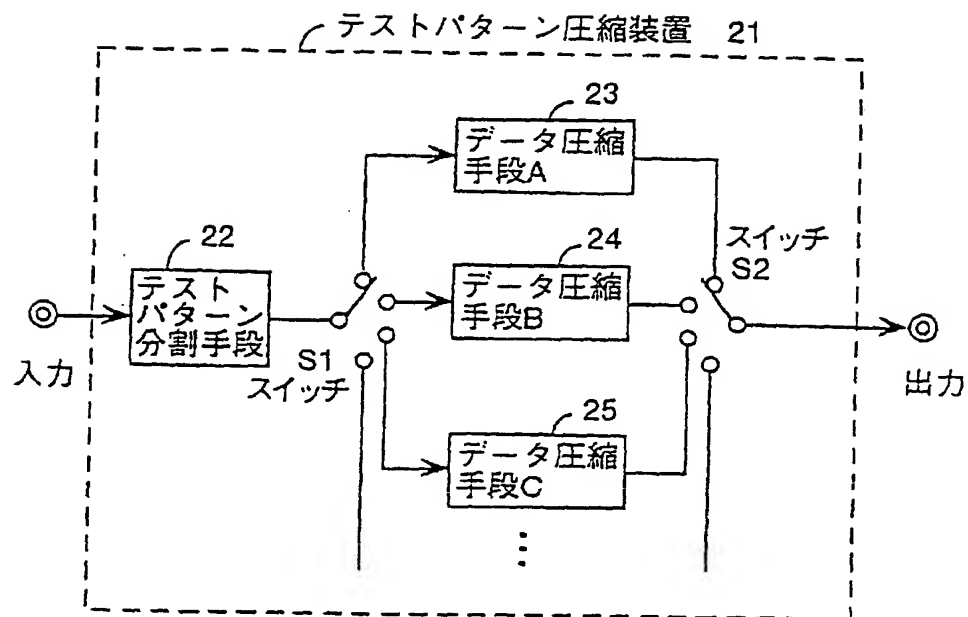


図 2

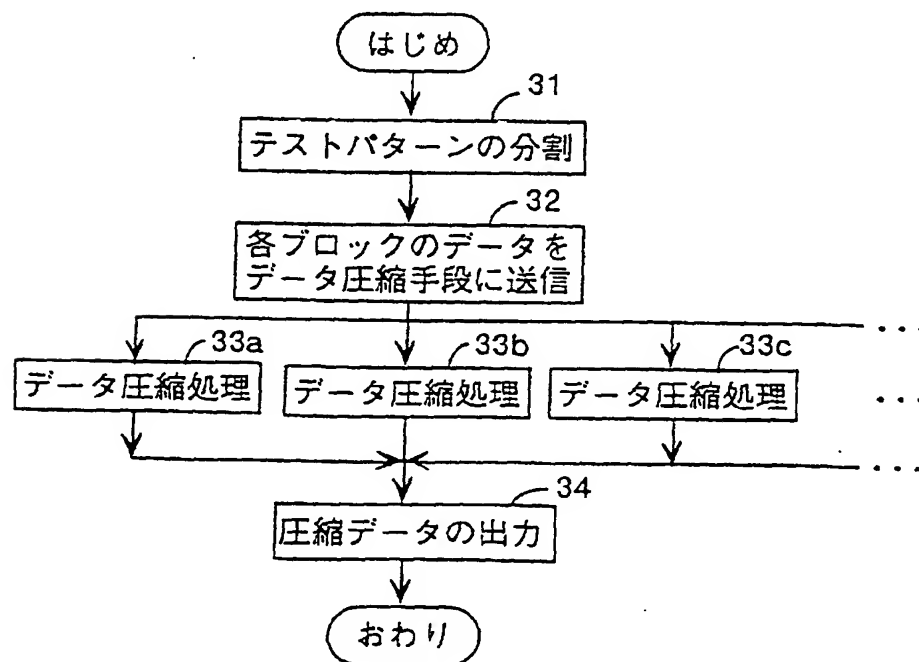


図 3

3/74

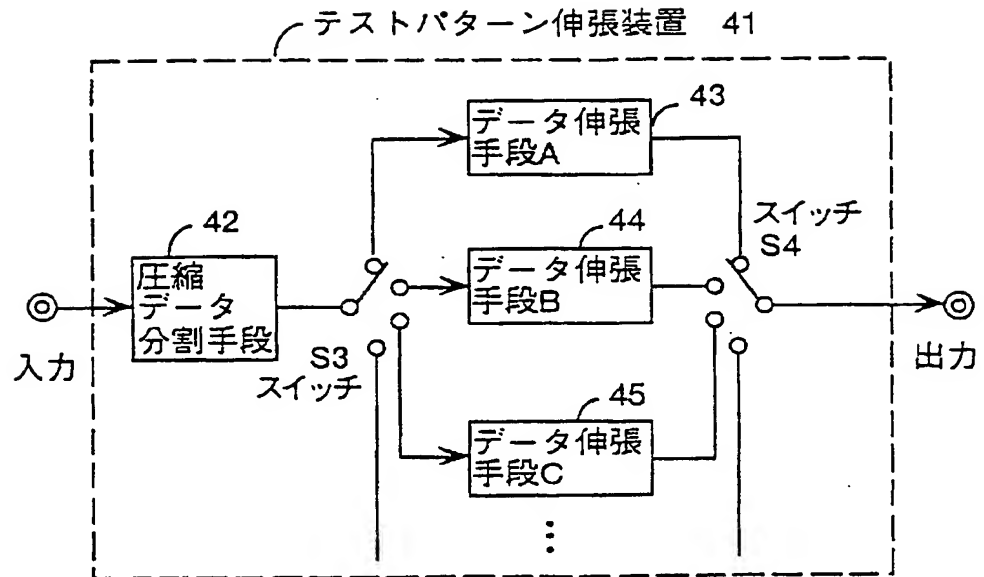


図 4

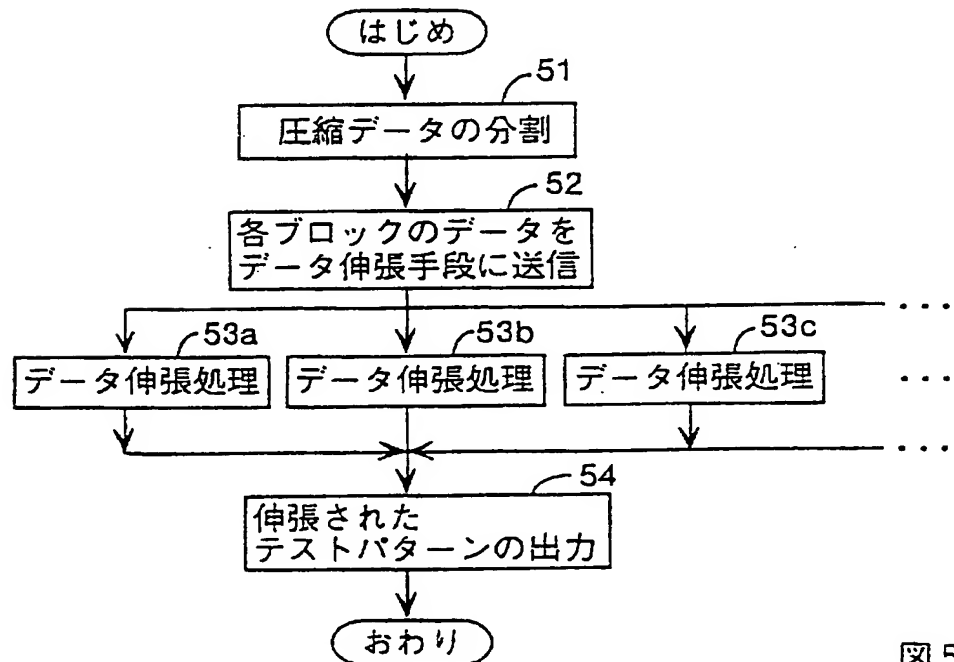


図 5

4/74

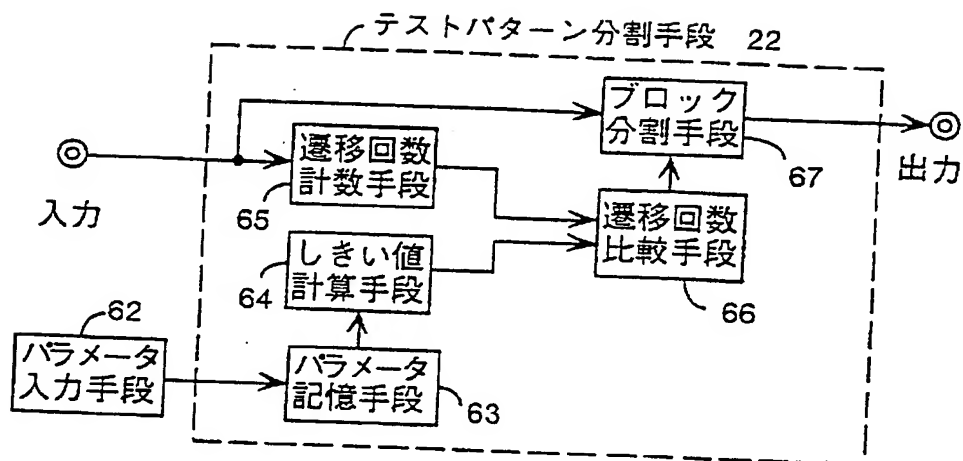


図 6

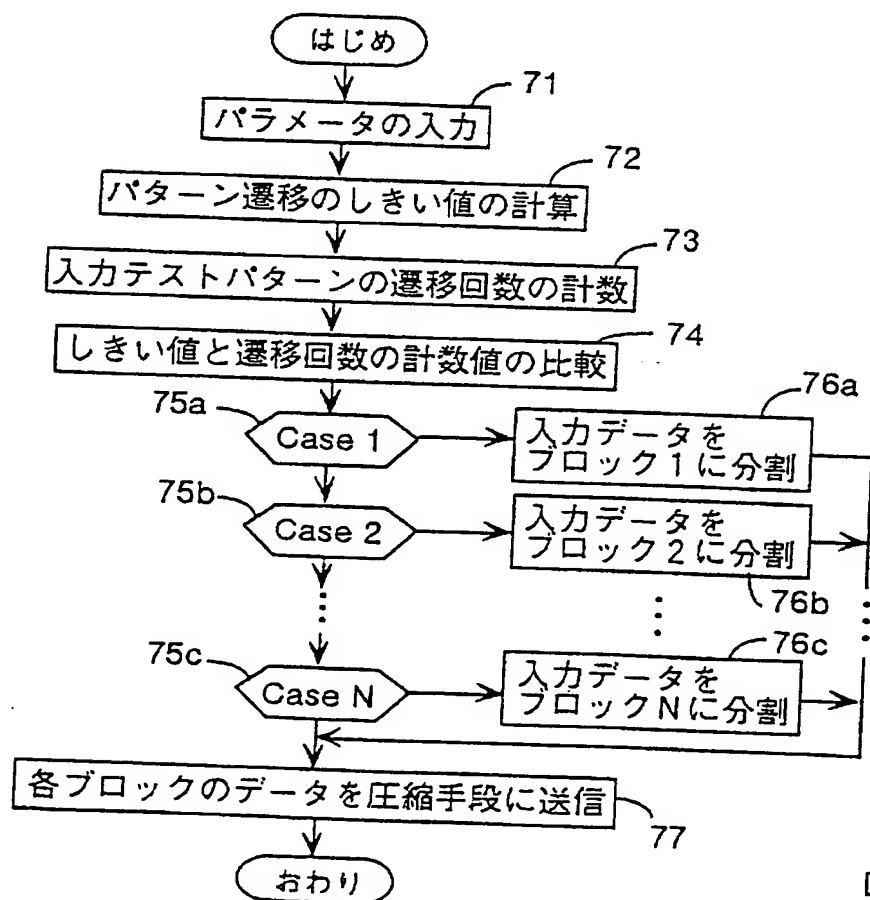


図 7

5/74

図 8 (a)

	ビ ン 1	ビ ン 2	ビ ン 3	ビ ン 4	ビ ン 5	ビ ン 6
パターン1	0	0	1	X	X	X
パターン2	0	0	X	1	X	1
パターン3	0	X	X	1	X	X
パターン4	0	X	1	1	X	1
パターン5	0	X	1	1	X	X
パターン6	0	X	0	X	X	0

(b)  $\phi_{\max}=2$

(c)  $\phi = [0 \ 1 \ 3 \ 2 \ 0 \ 5]$

(d)

ブロック1	ブロック2
0 0 X X	1 X
0 0 1 X	X 1
0 X 1 X	X X
0 X 1 X	1 1
0 X 1 X	1 X
0 X X X	0 0
$(\phi \leq \phi_{\max})$	$(\phi > \phi_{\max})$

6/74

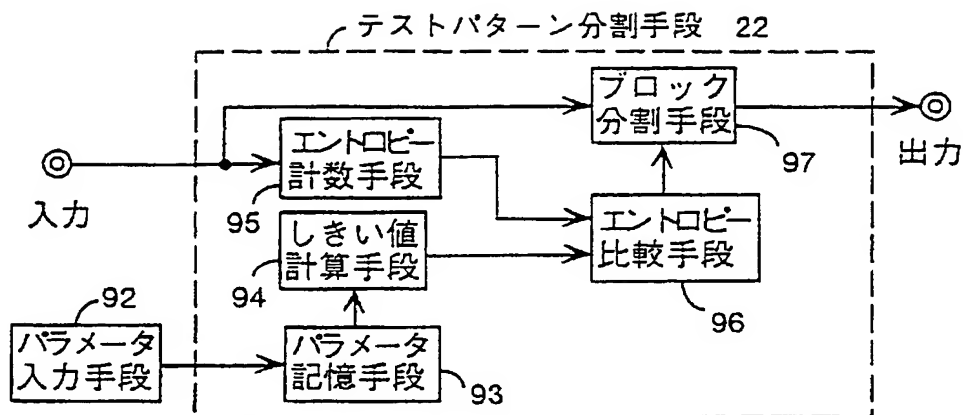


図9

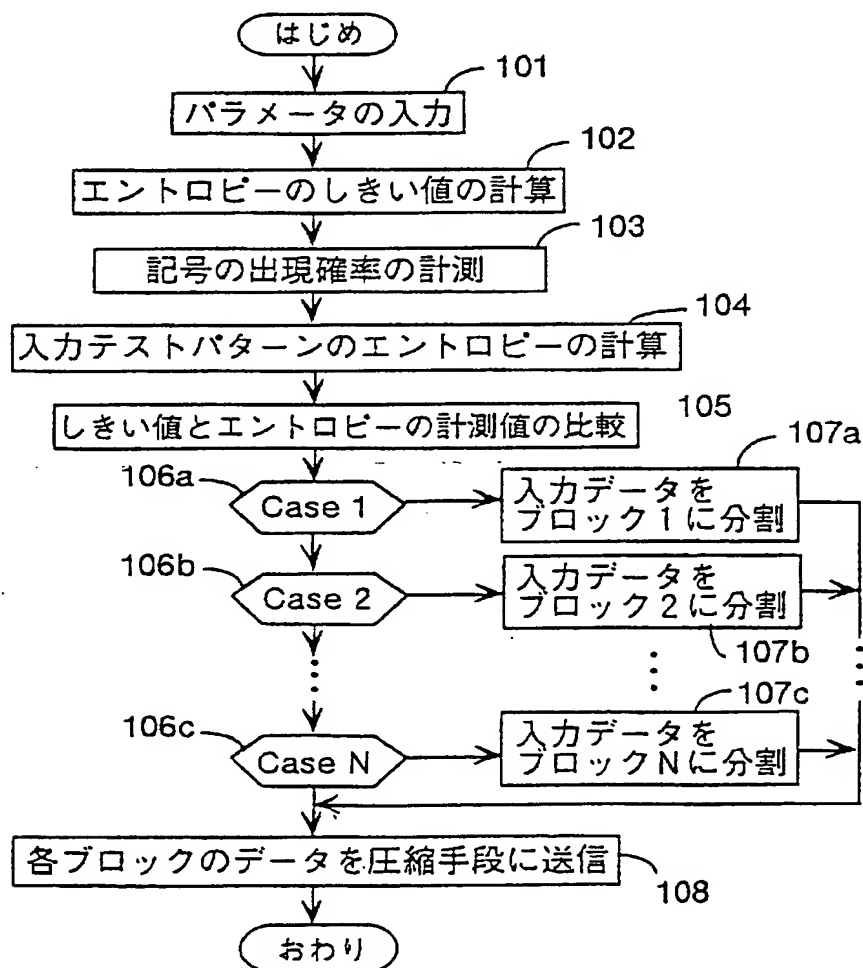


図10

7/74

(a)

	ビ ン 1	ビ ン 2	ビ ン 3	ビ ン 4	ビ ン 5	ビ ン 6
パターン1	0	0	1	X	X	X
パターン2	0	0	X	1	X	1
パターン3	0	X	X	1	X	X
パターン4	0	X	1	1	X	1
パターン5	0	X	1	1	X	X
パターン6	0	X	0	X	X	0

(b)  $H_{\max}=1.0$

(c)  $H = [ 0.0 \ 0.92 \ 1.46 \ 0.92 \ 0.0 \ 1.46 ]$

(d)

ブロック1	ブロック2
0 0 X X	1 X
0 0 1 X	X 1
0 X 1 X	X X
0 X 1 X	1 1
0 X 1 X	1 X
0 X X X	0 0
$(H \leq H_{\max})$	$(H > H_{\max})$

8/74

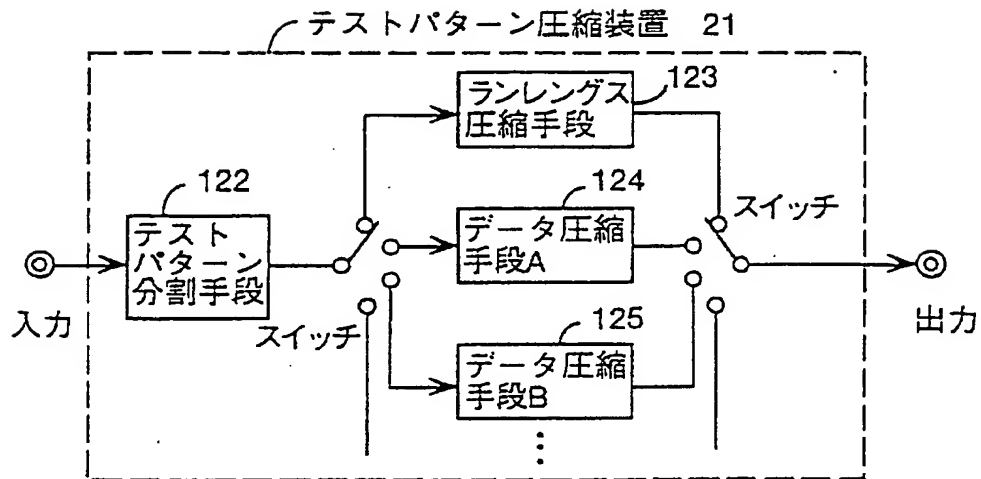


図12

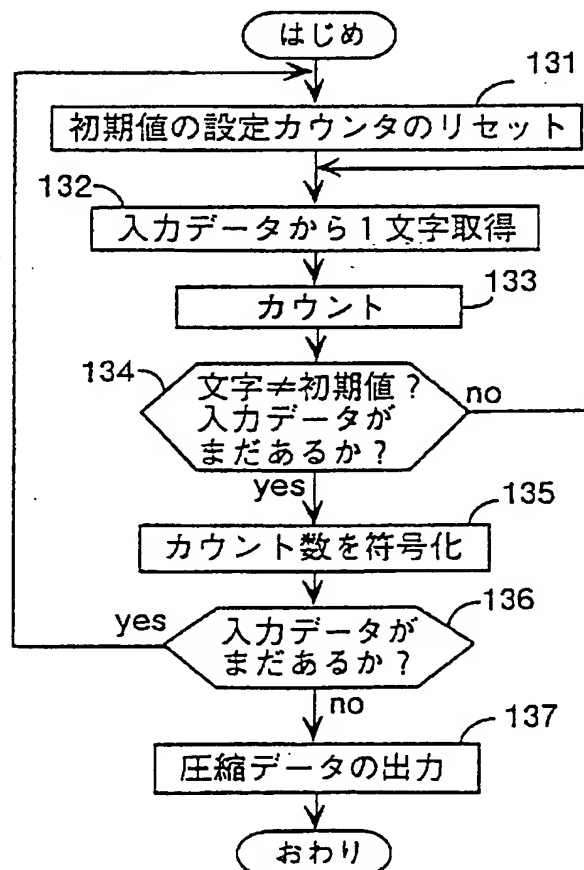


図13



9/74

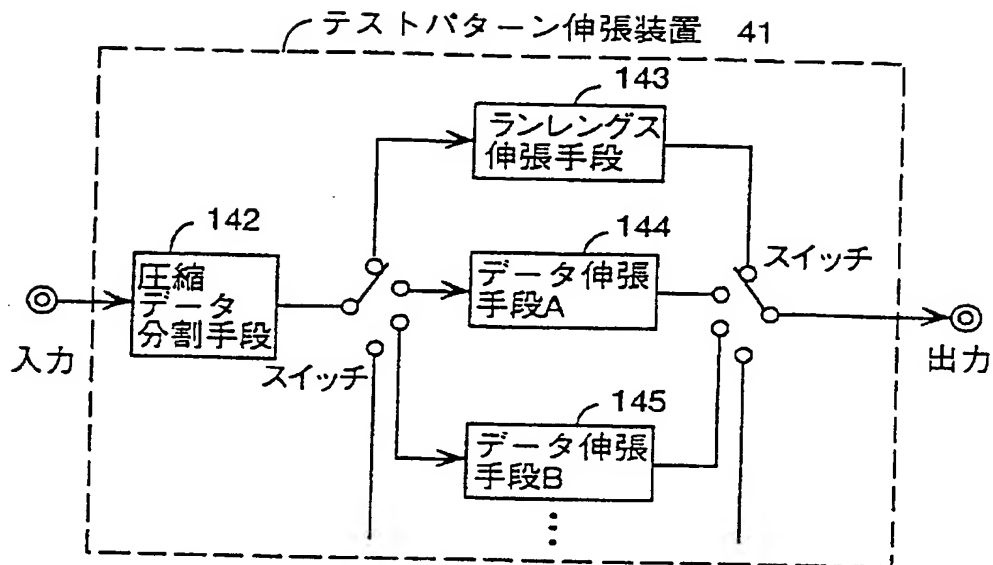


図14

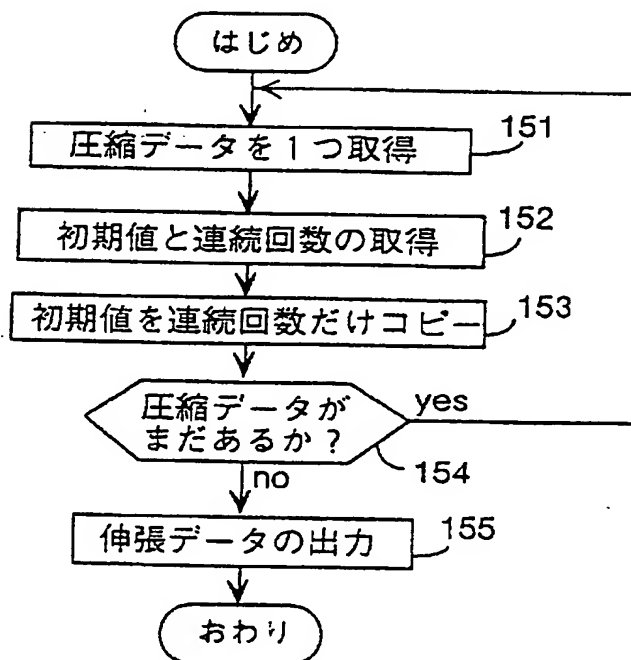


図15

10/74

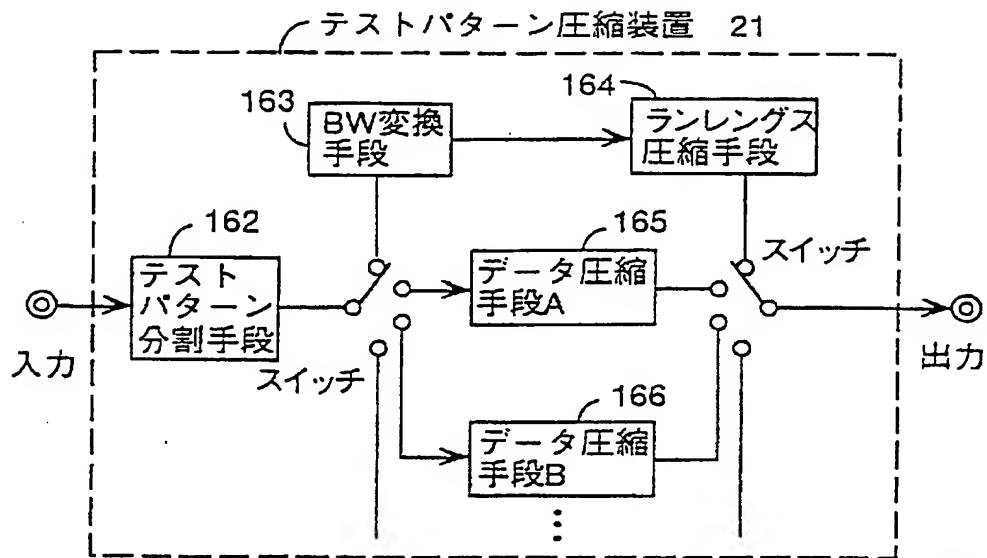


図16

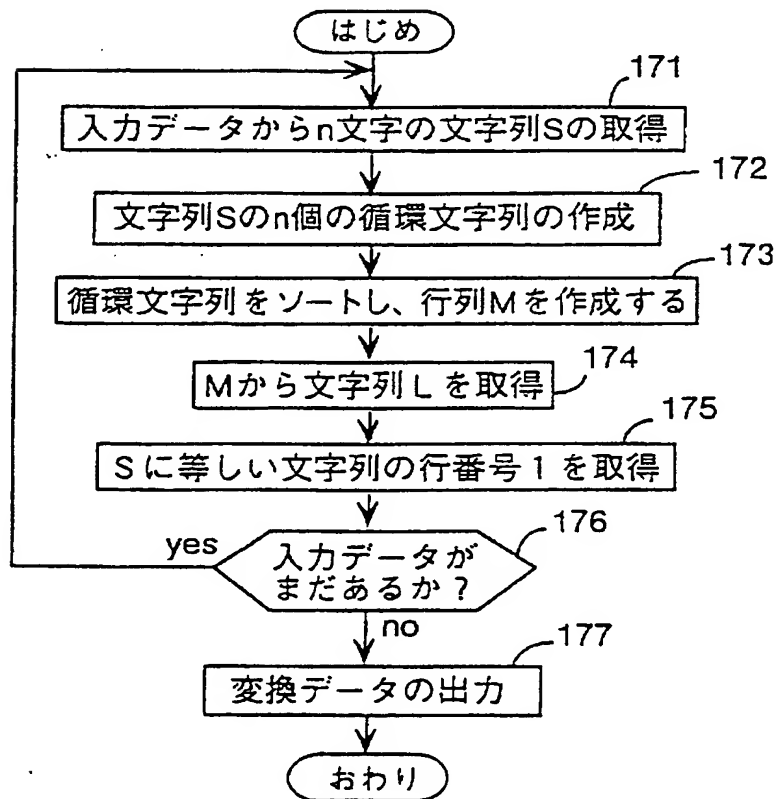


図17

11/74

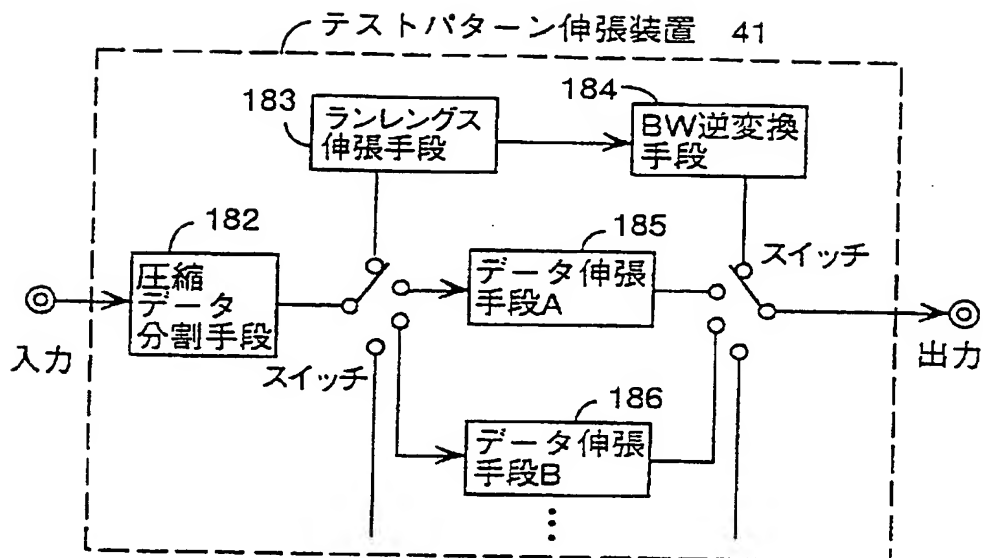


图 18

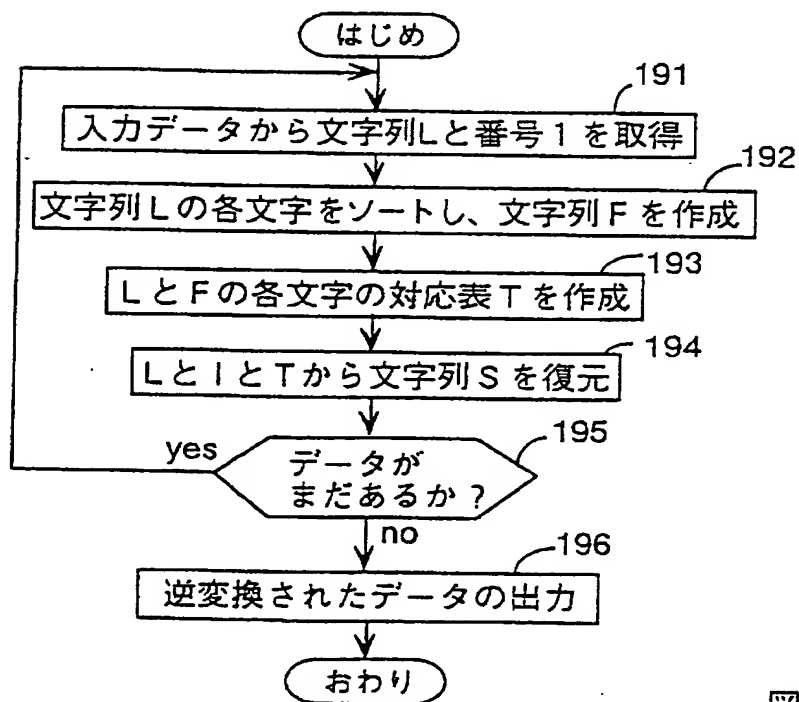


图 19

12/74

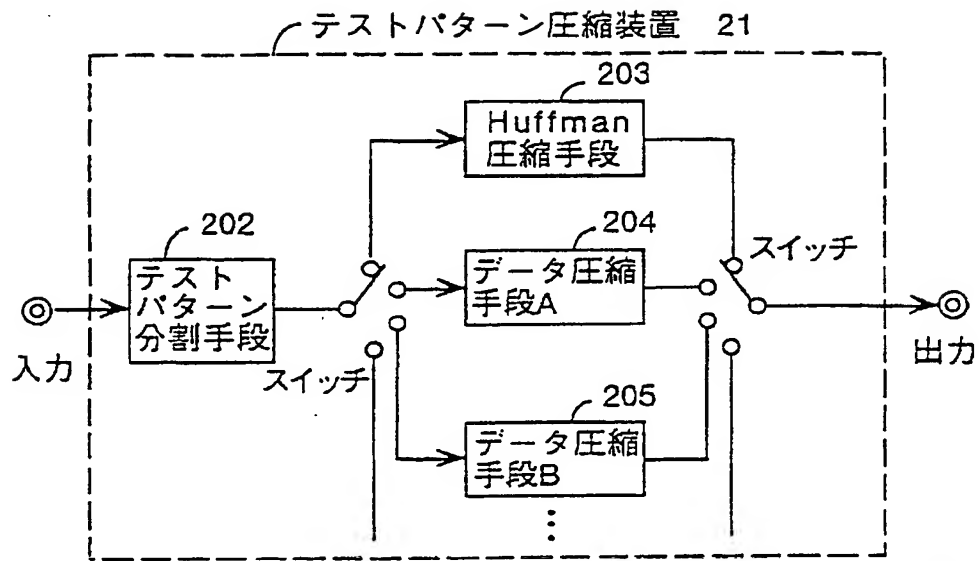


図20

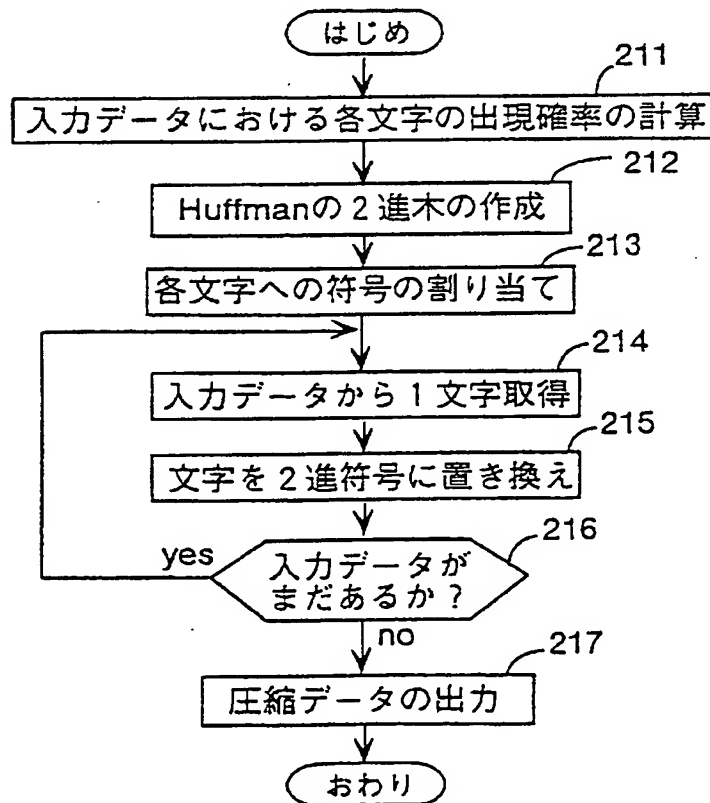


図21

13/74

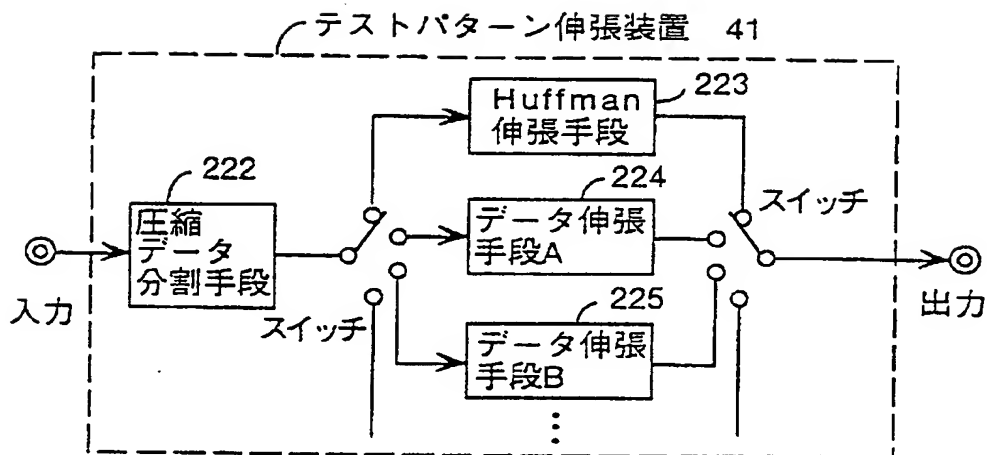


図22

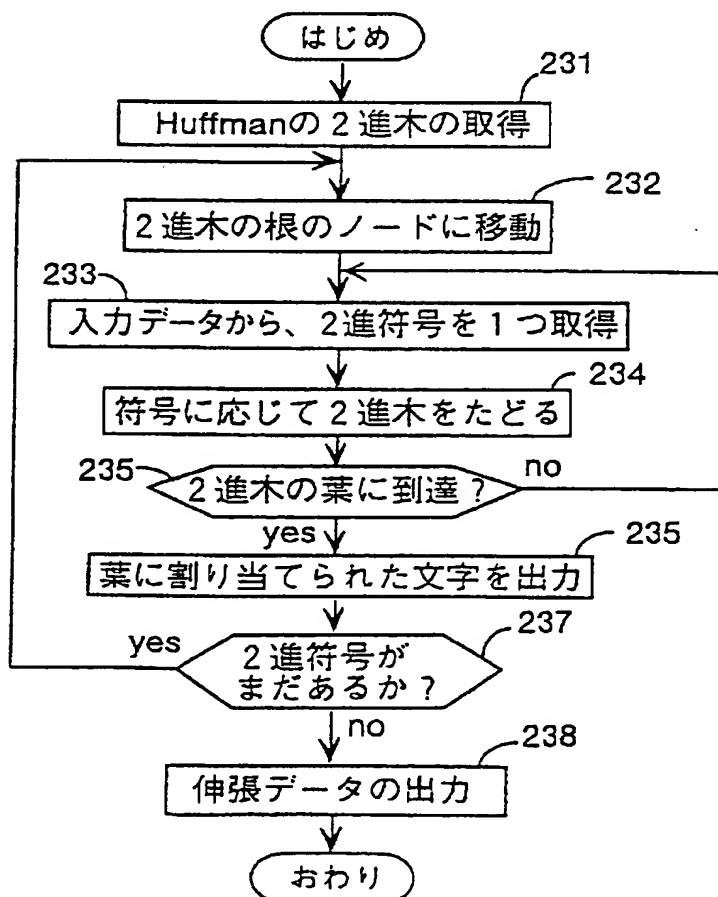


図23

14/74

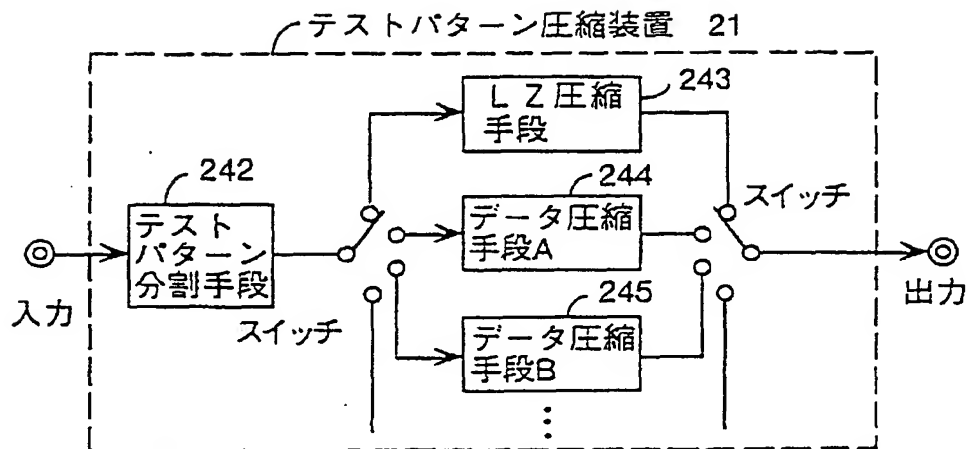


図24

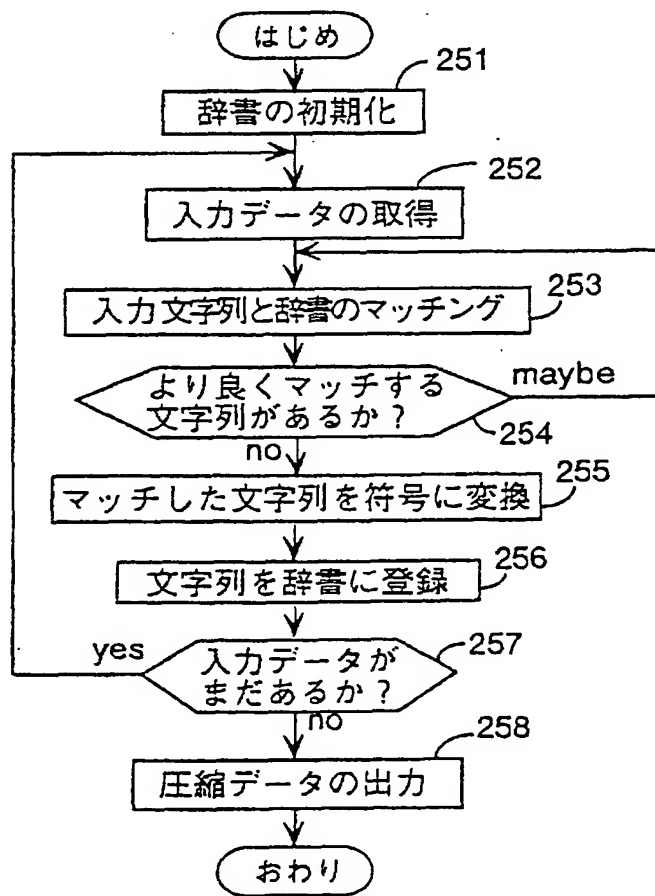


図25

15/74

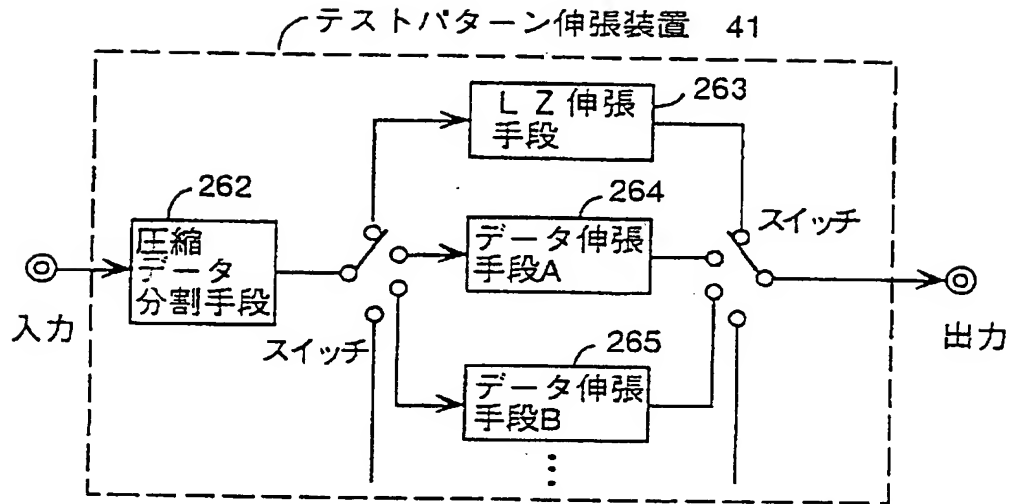


図26

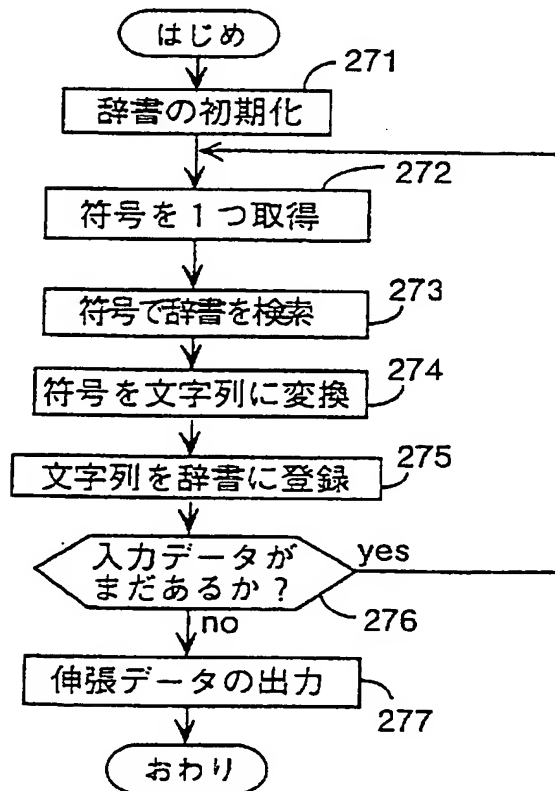


図27

16/74

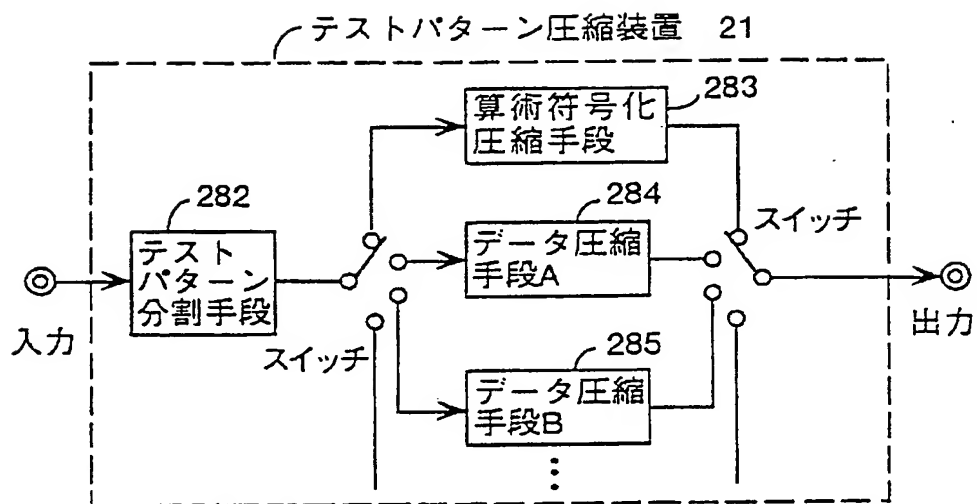


図28

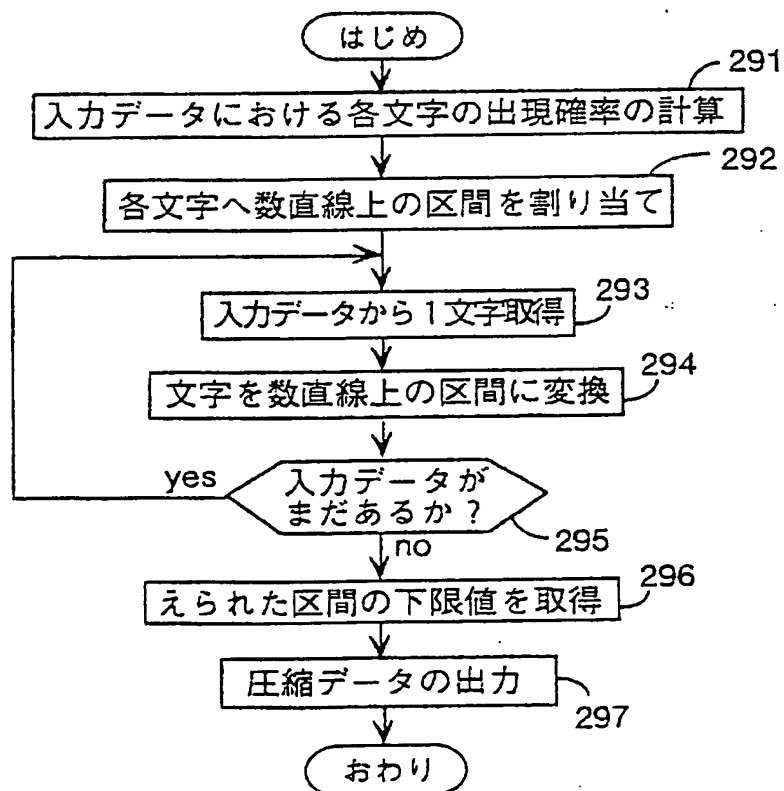


図29



17/74

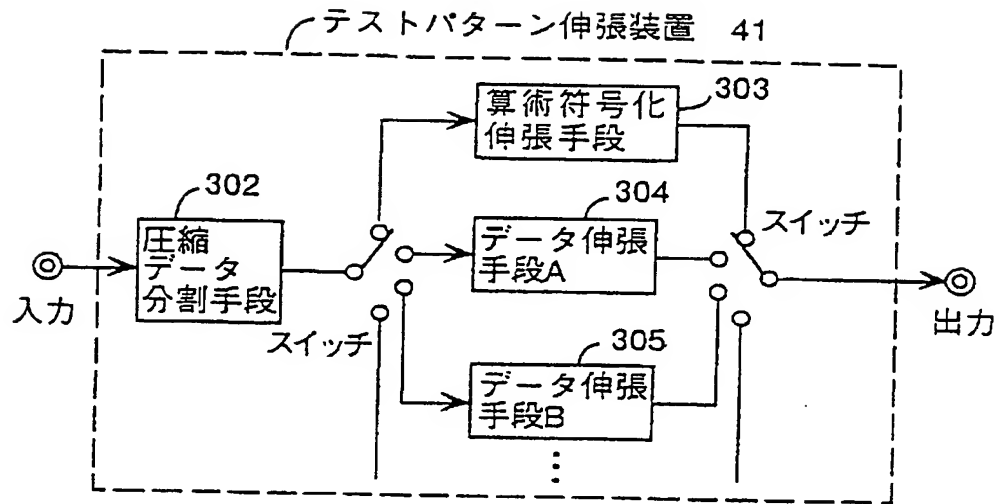


図30

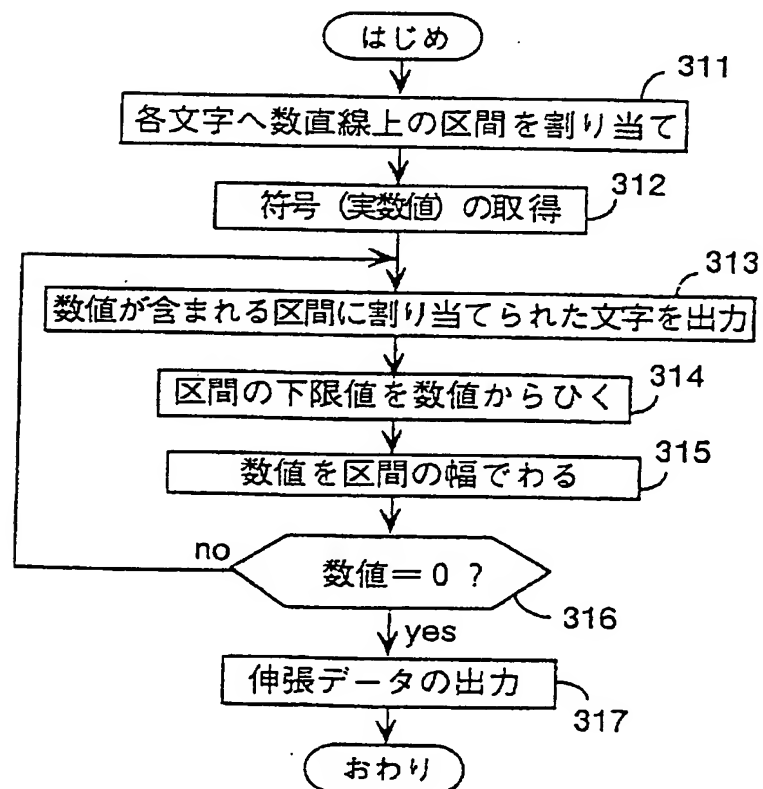


図31

18/74

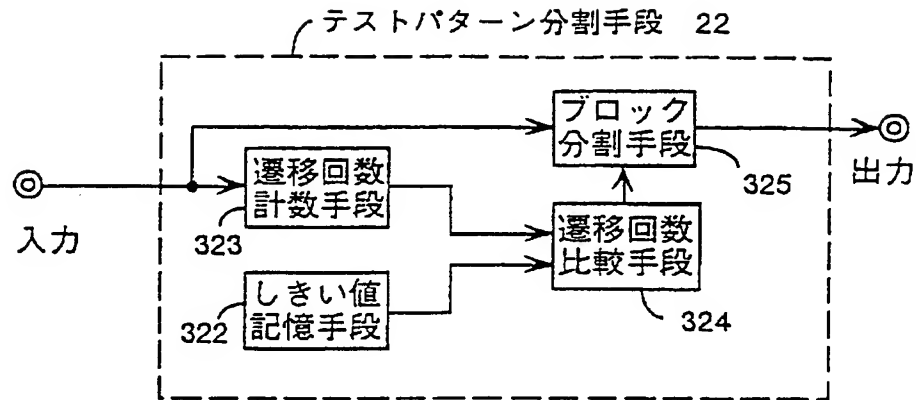


図32

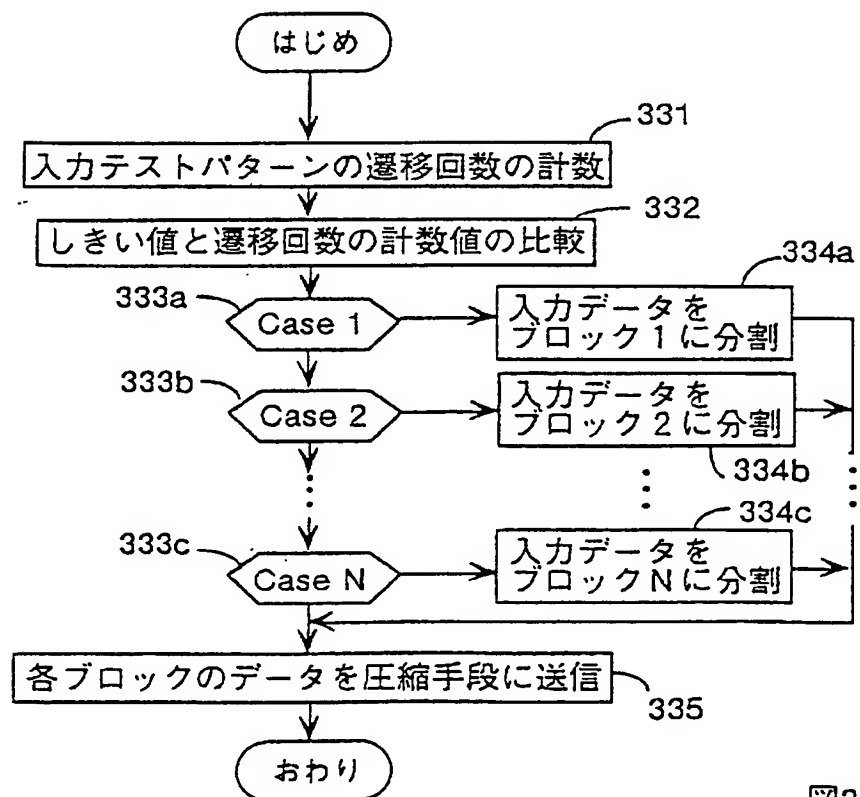


図33

19/74

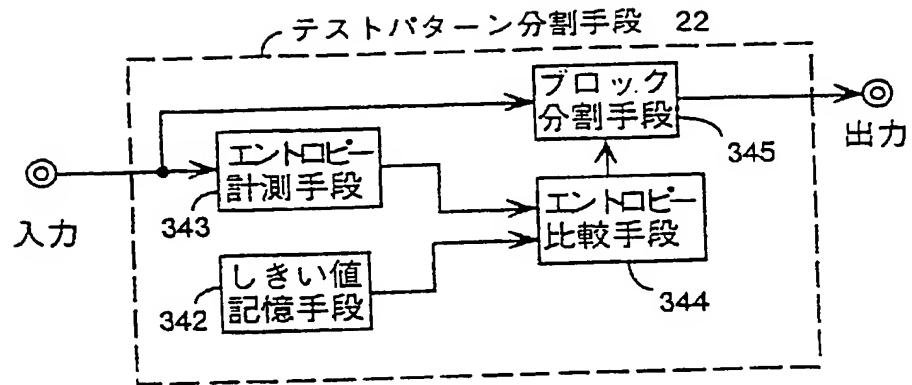


図34

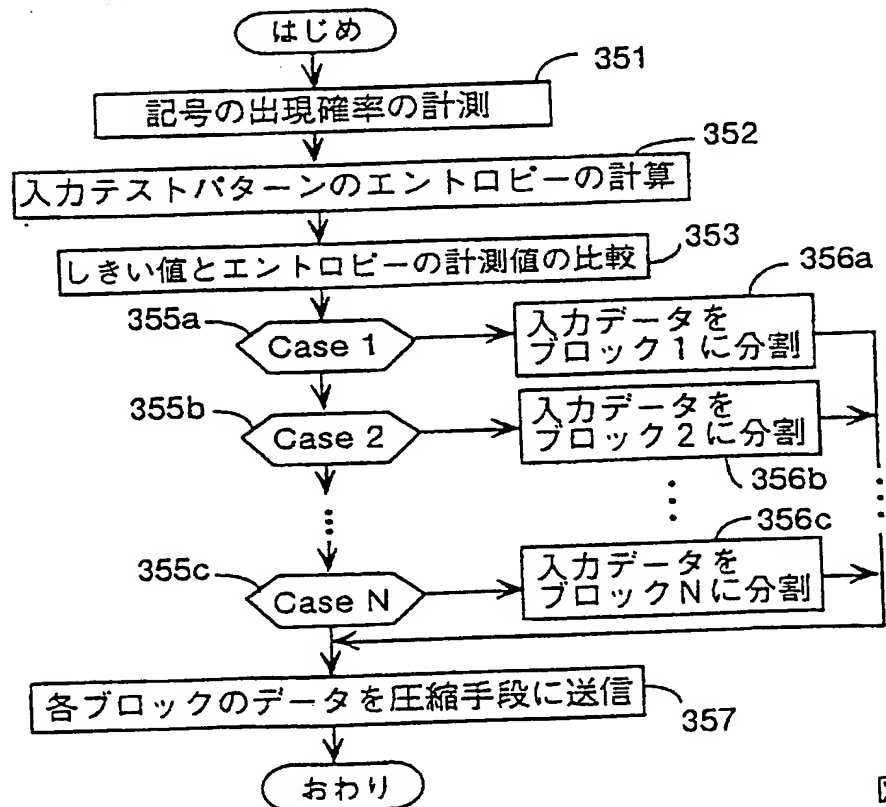


図35

20/74

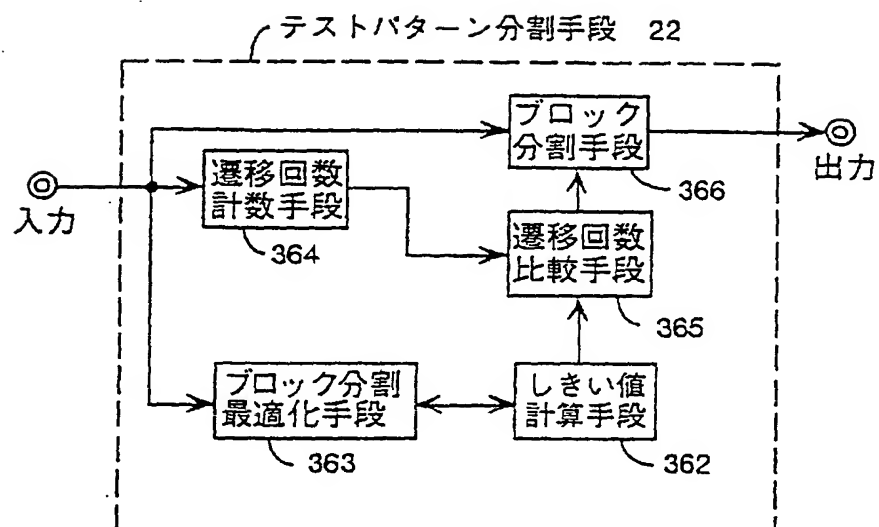


図36

21/74

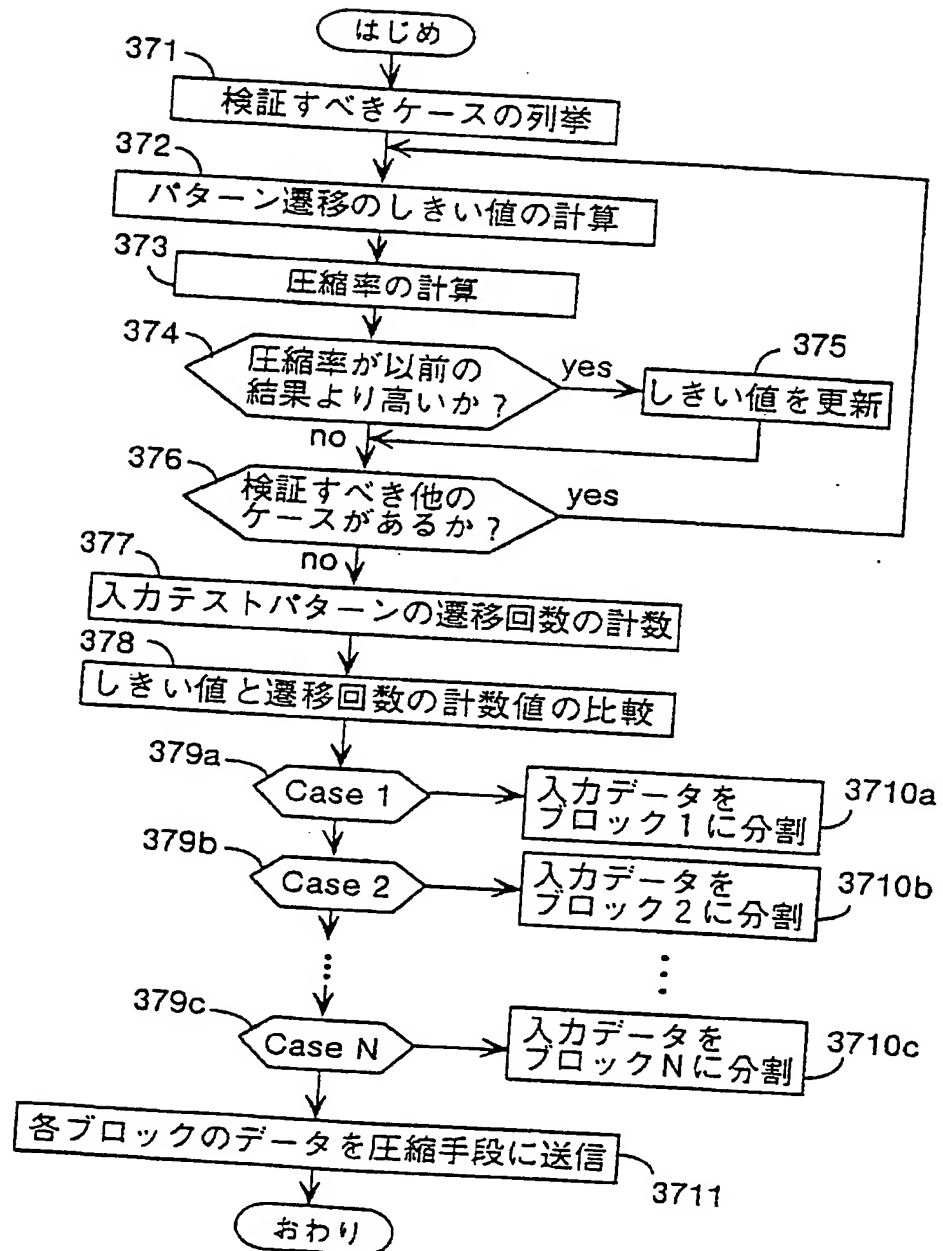


図37

22/74

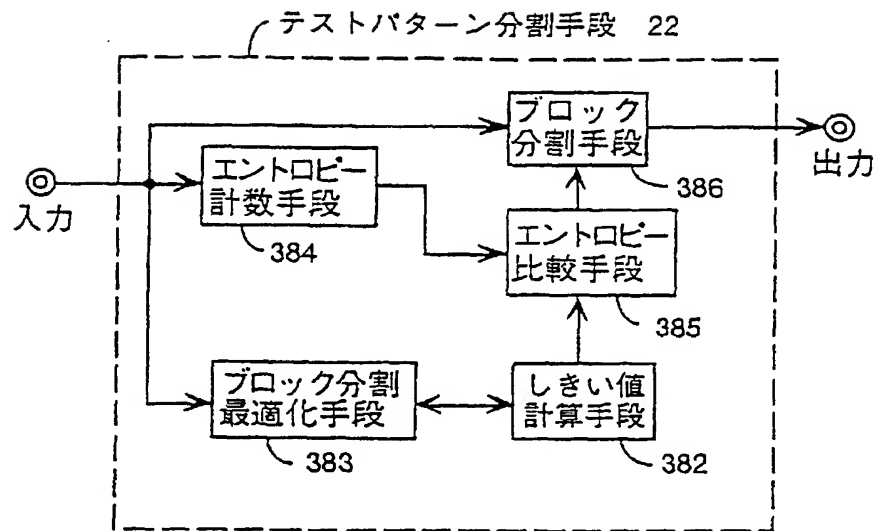


図38

23/74

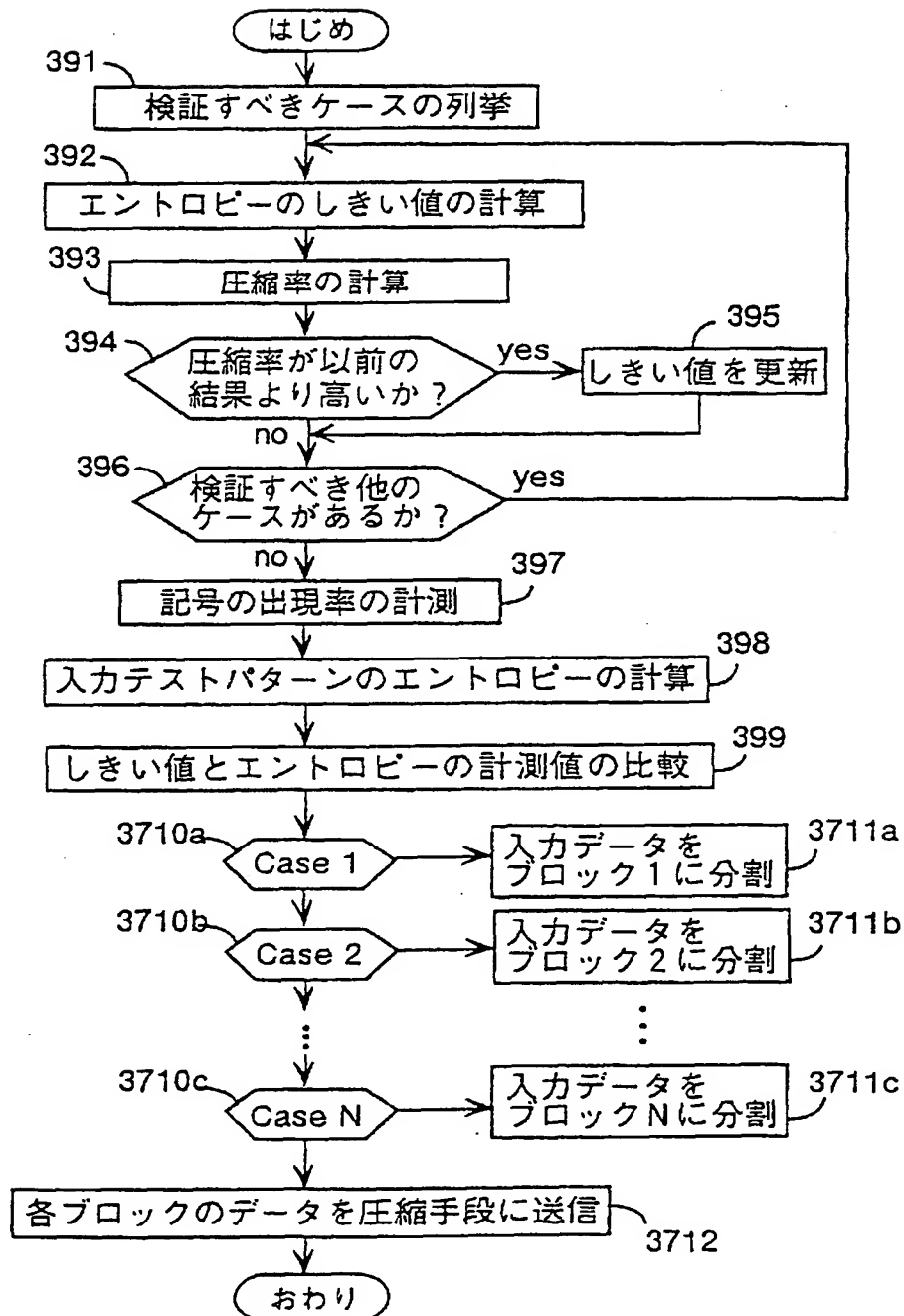


図39

24/74

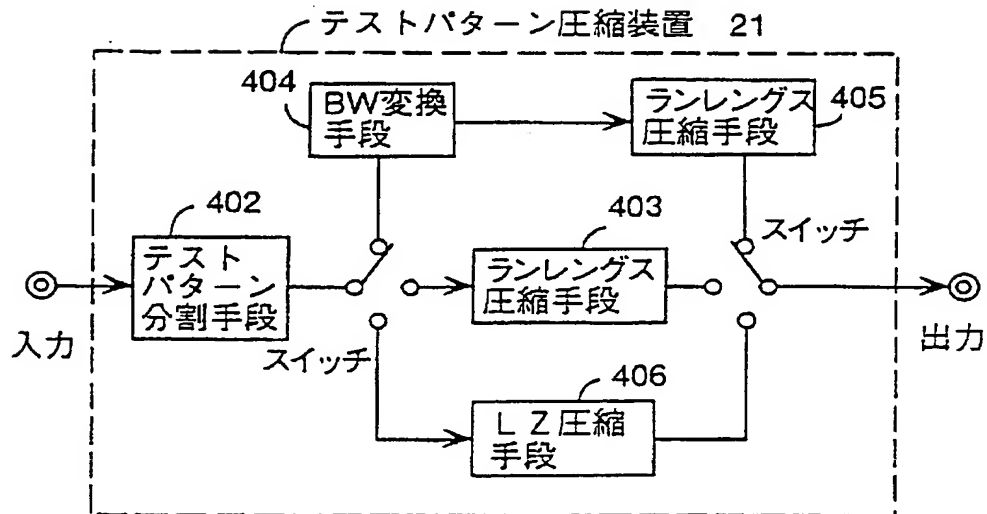


図40

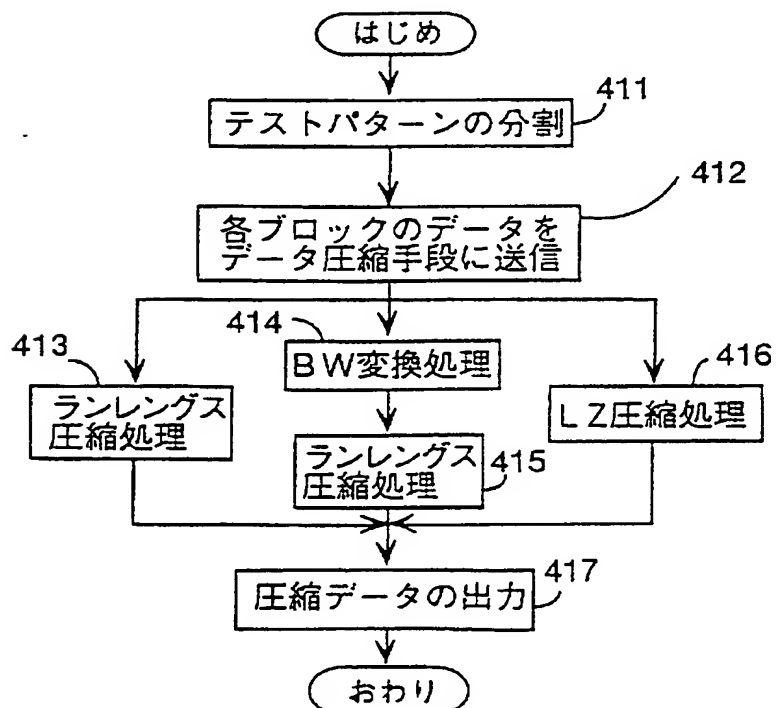


図41



25/74

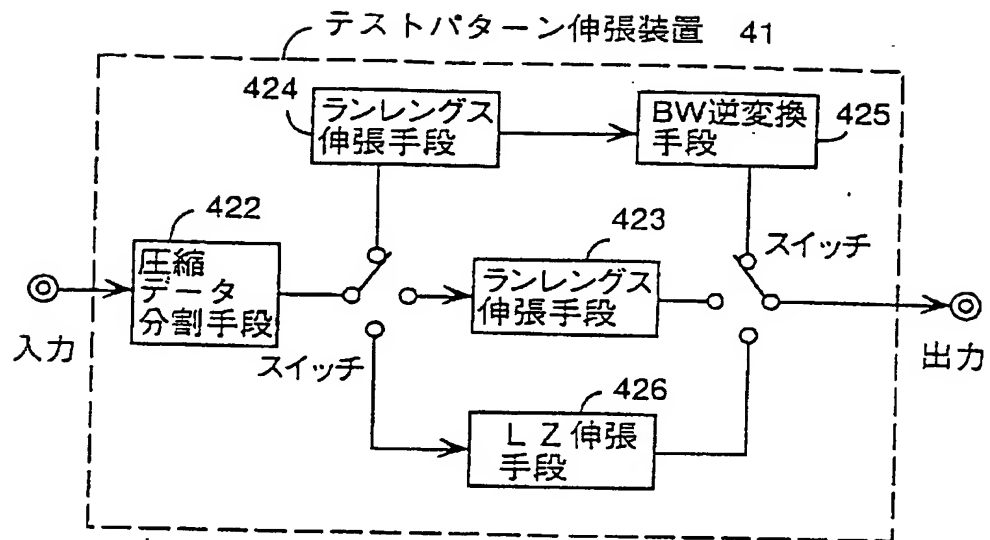


図42

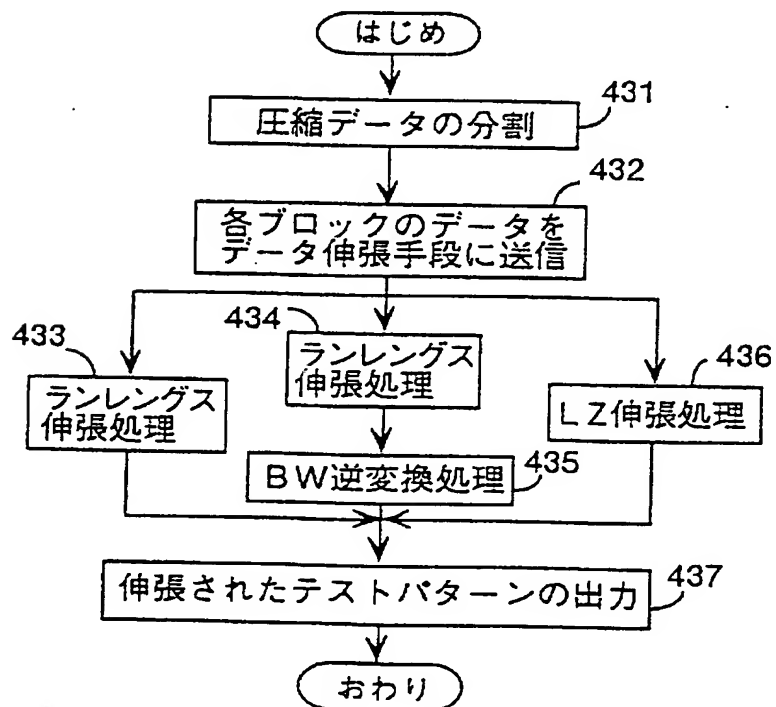


図43

26/74

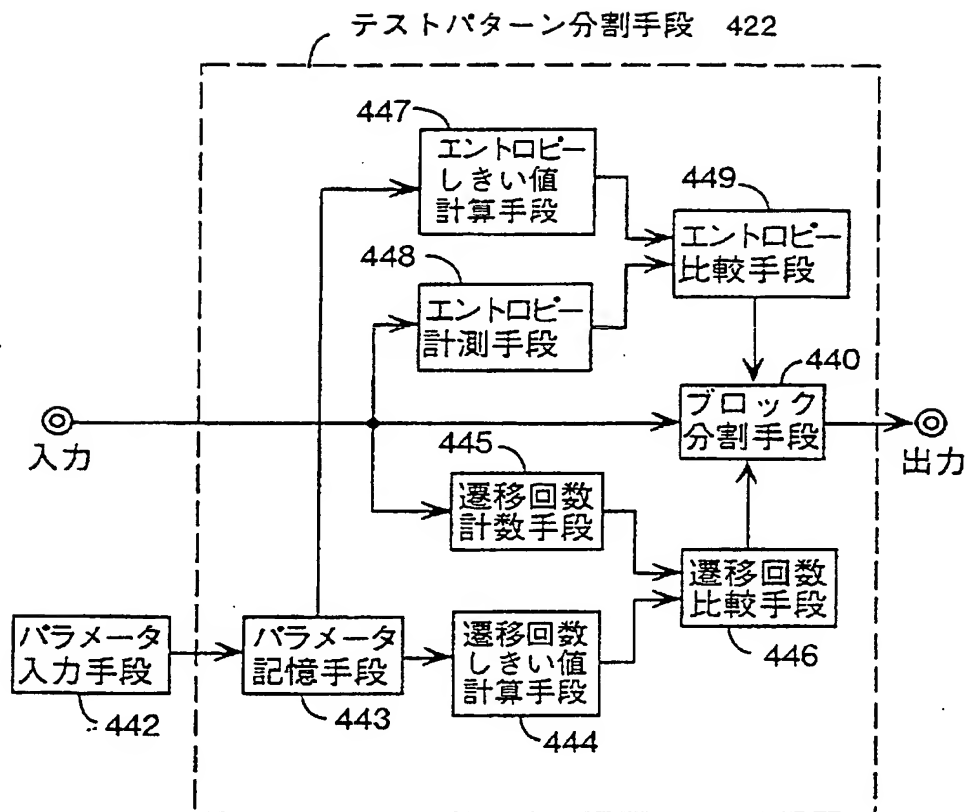


図44

27/74

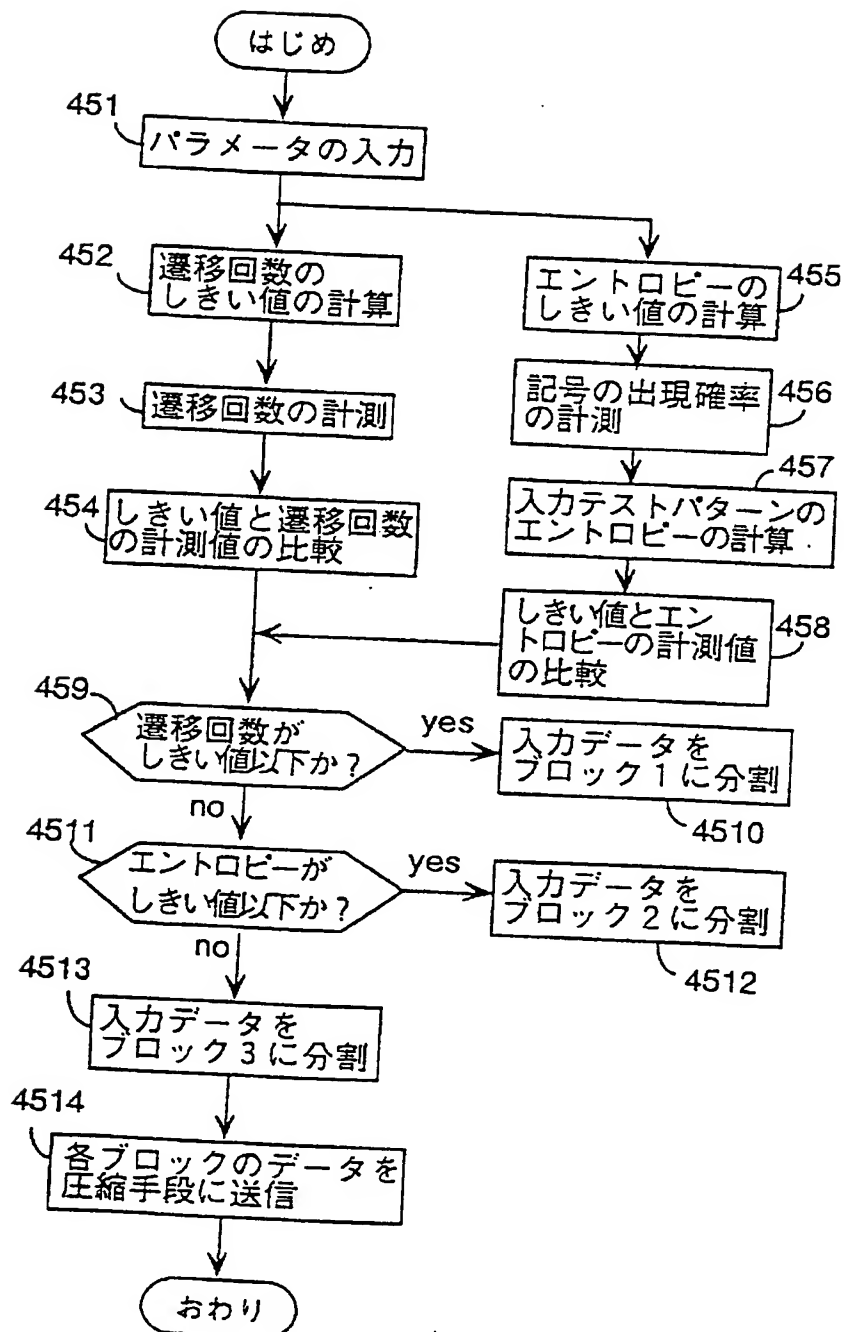


図45

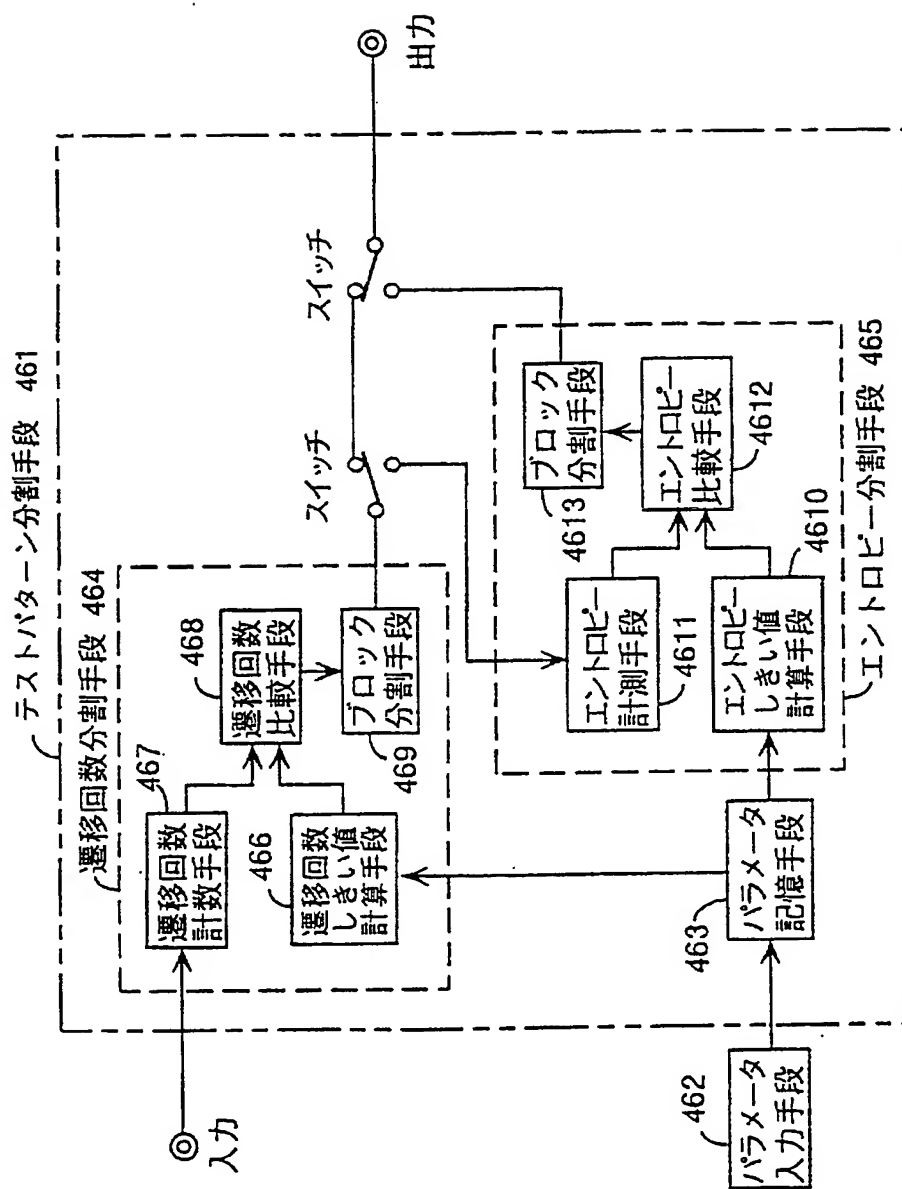


图 46

29/74

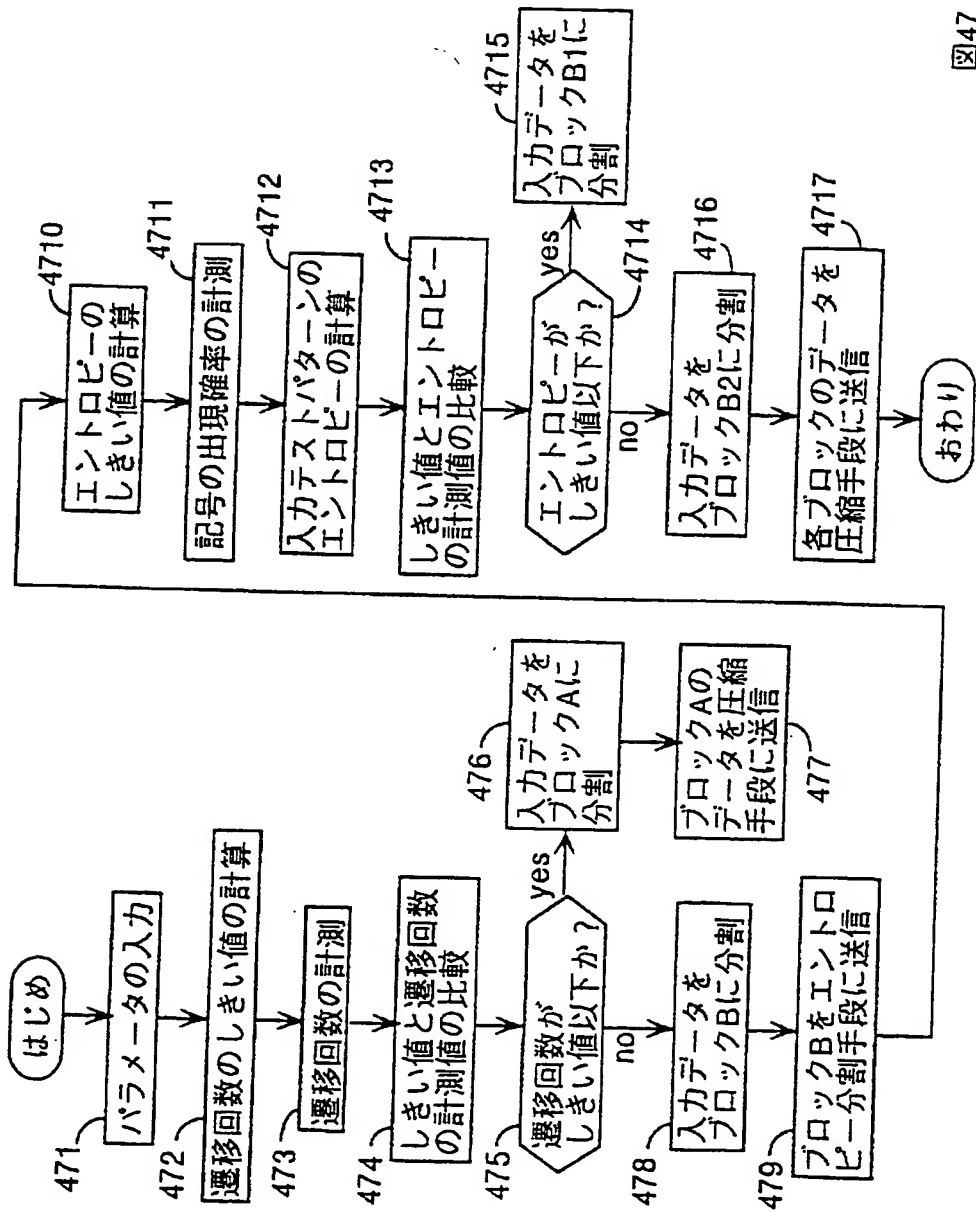


図47

30/74

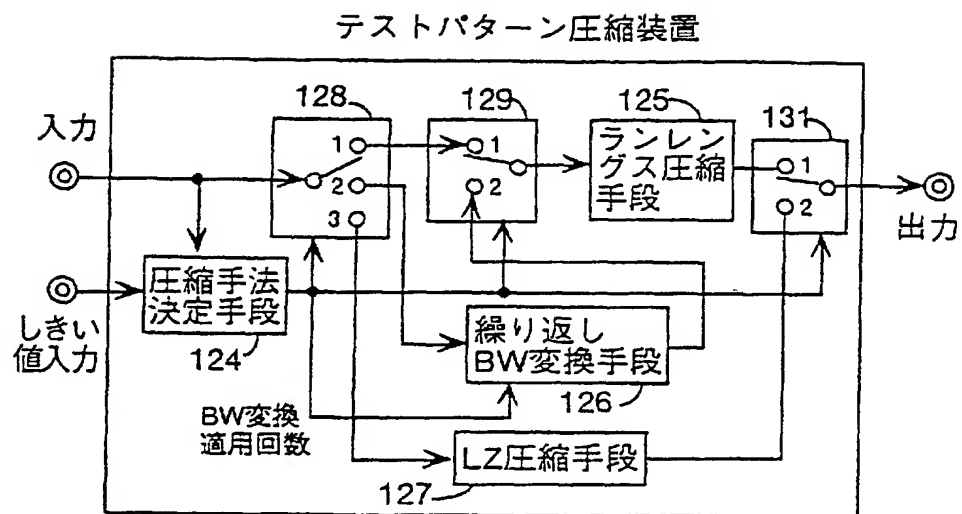
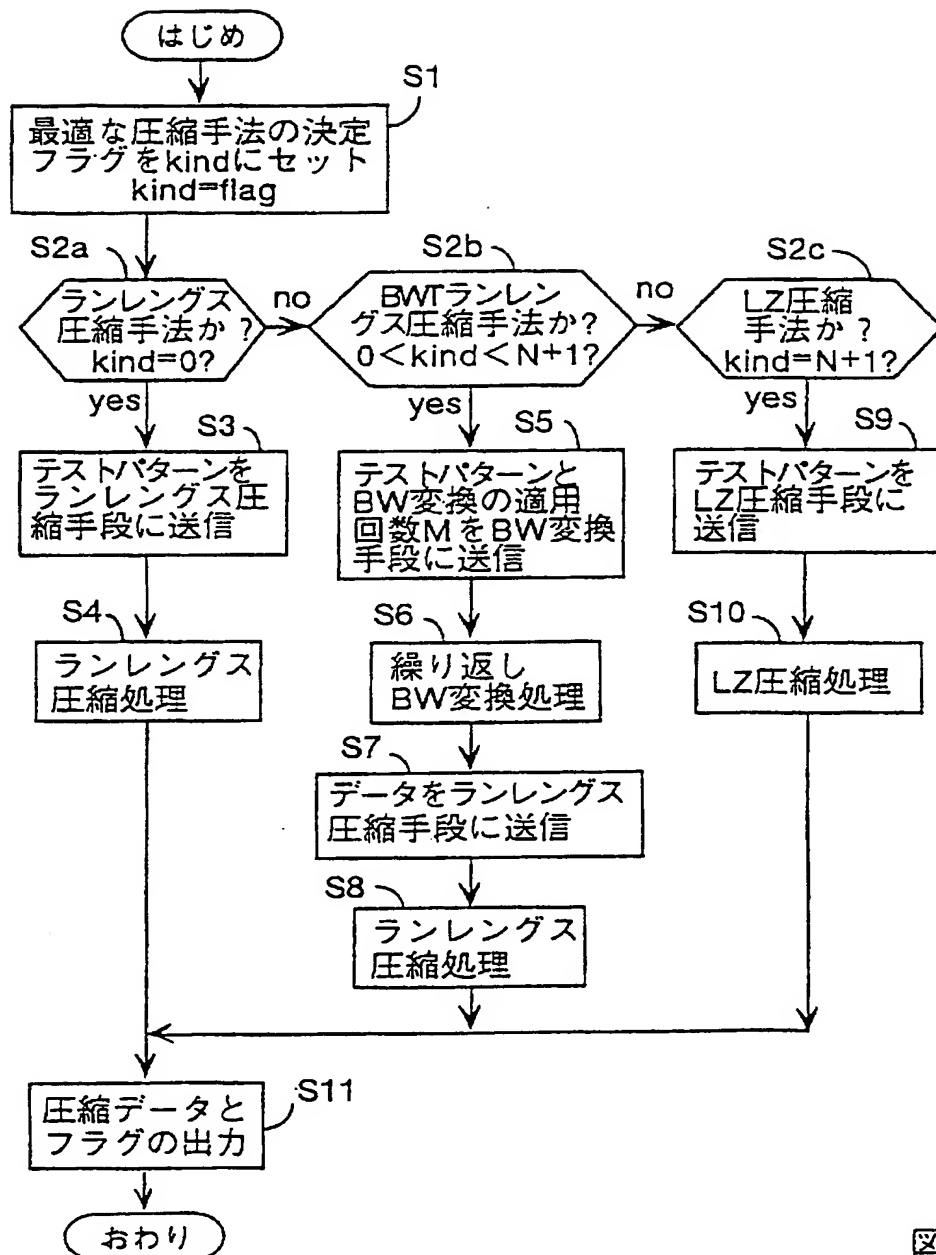


図48

31/74



32/74

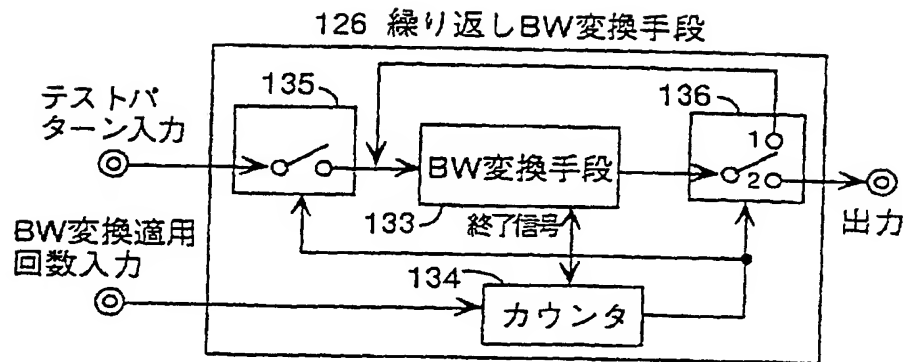


図50

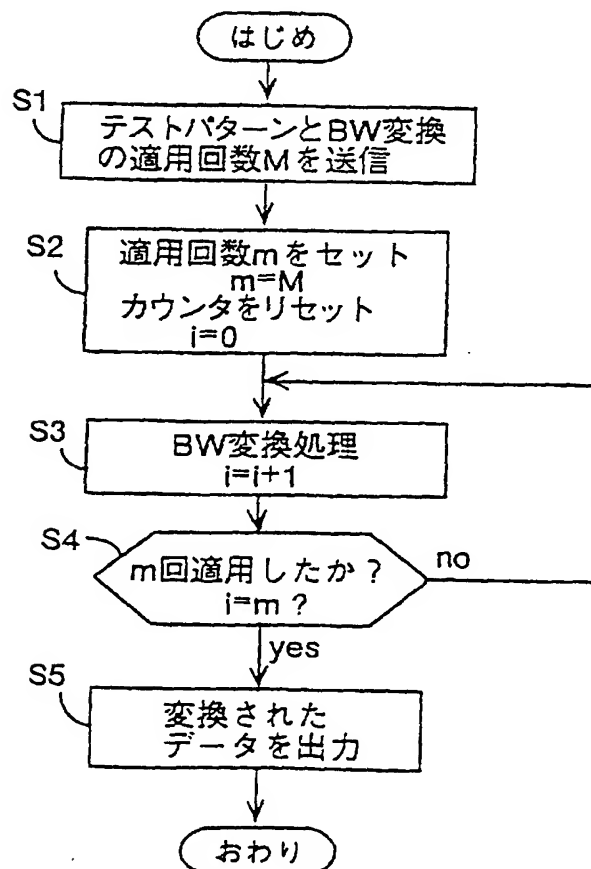


図51



33/74

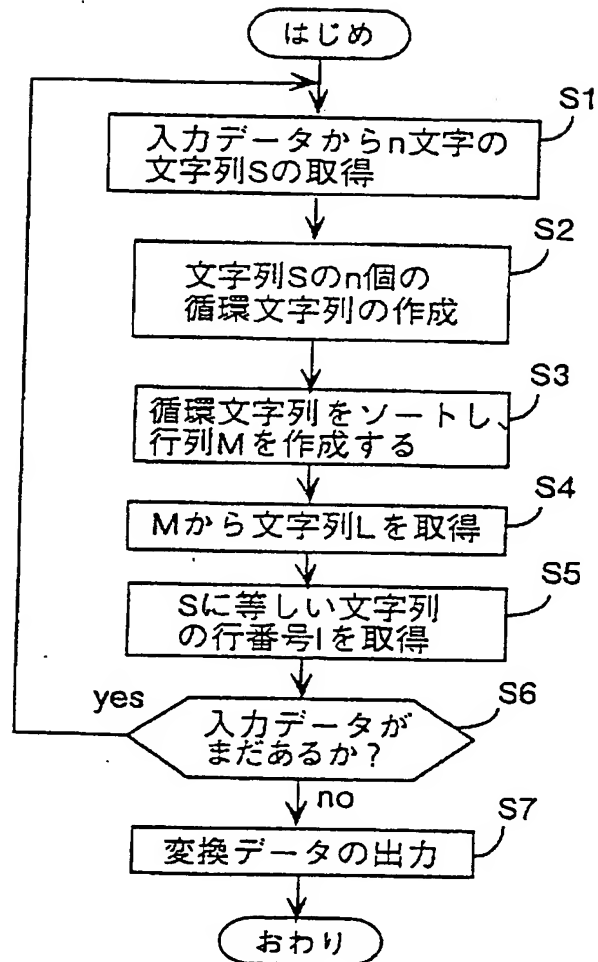


図52

34/74

図 5 3

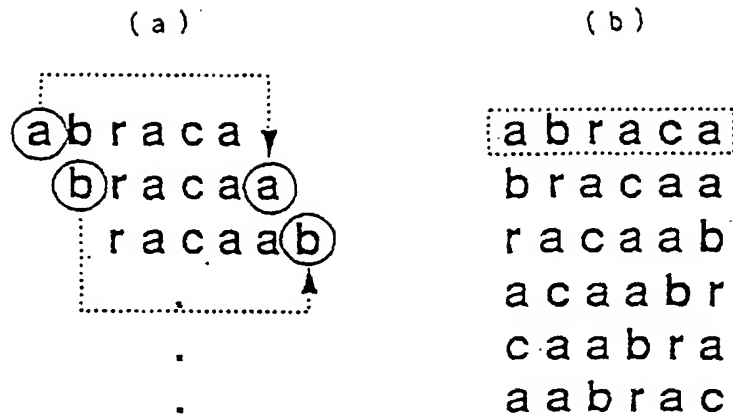


図 5 4

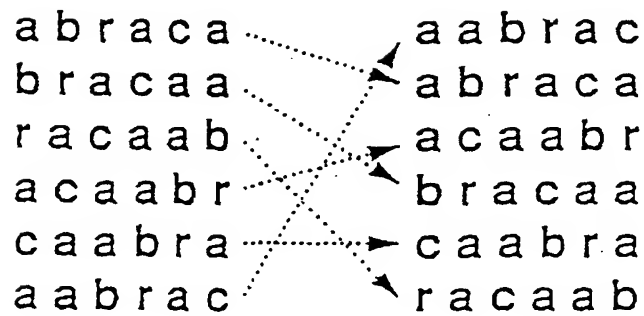
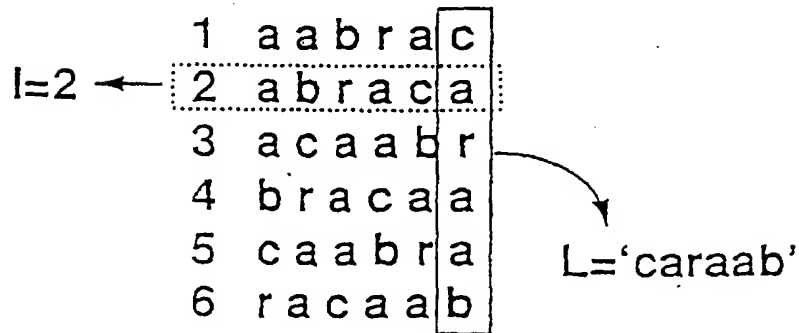


図 5 5



35/74

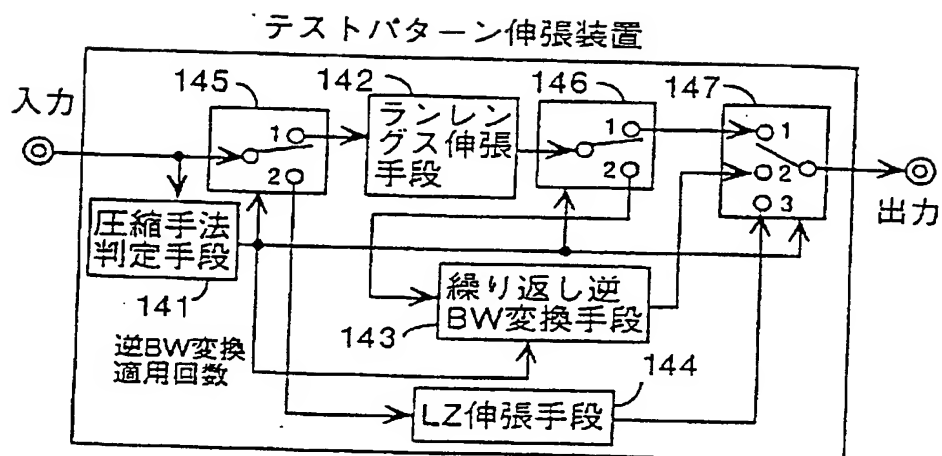


図56

36/74

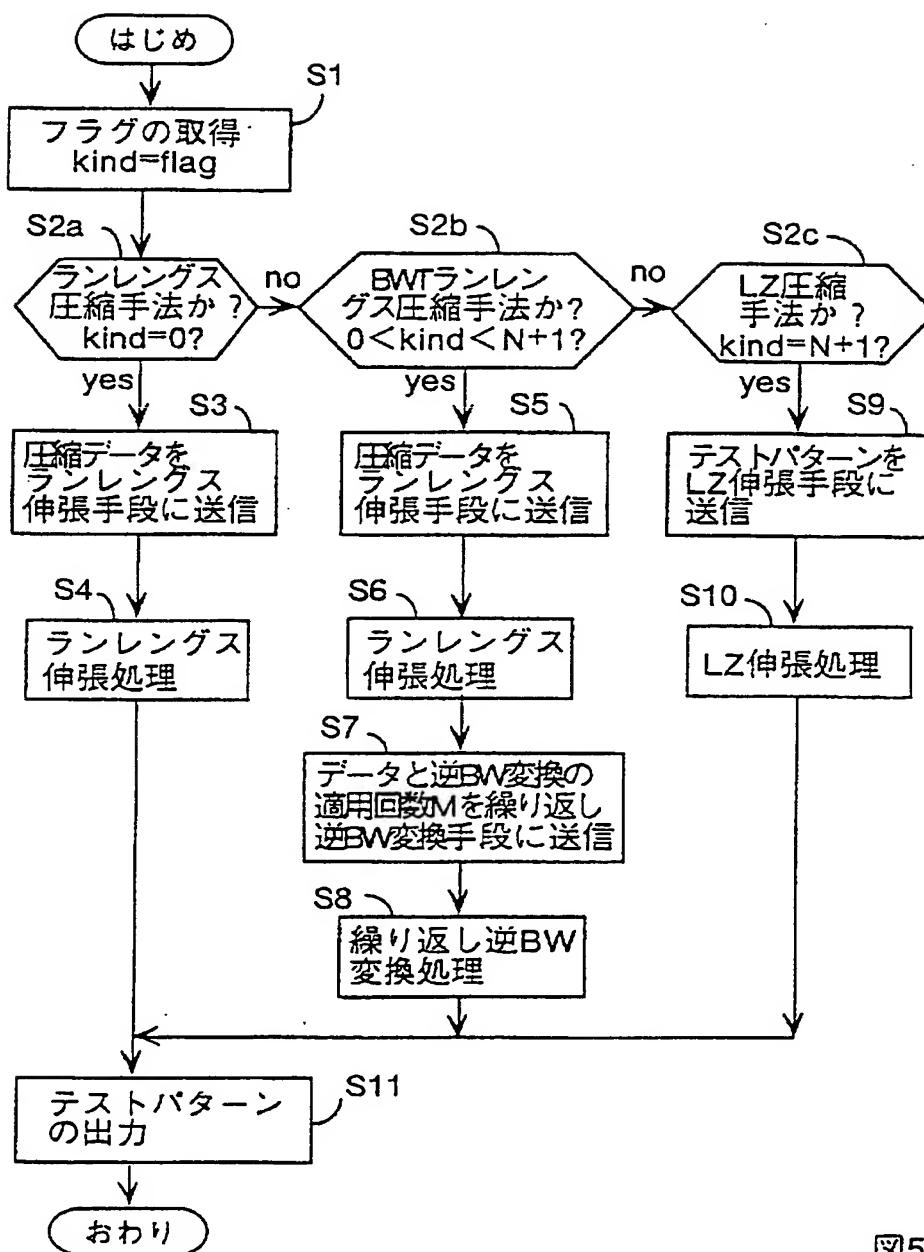


図57

37/74

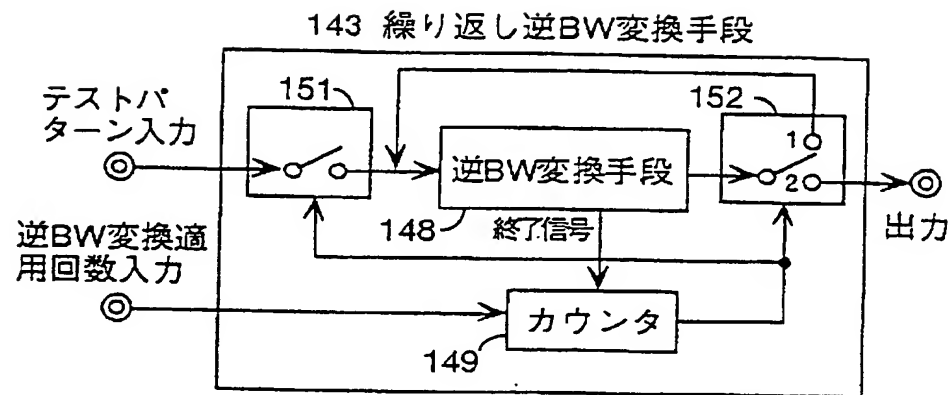


図58

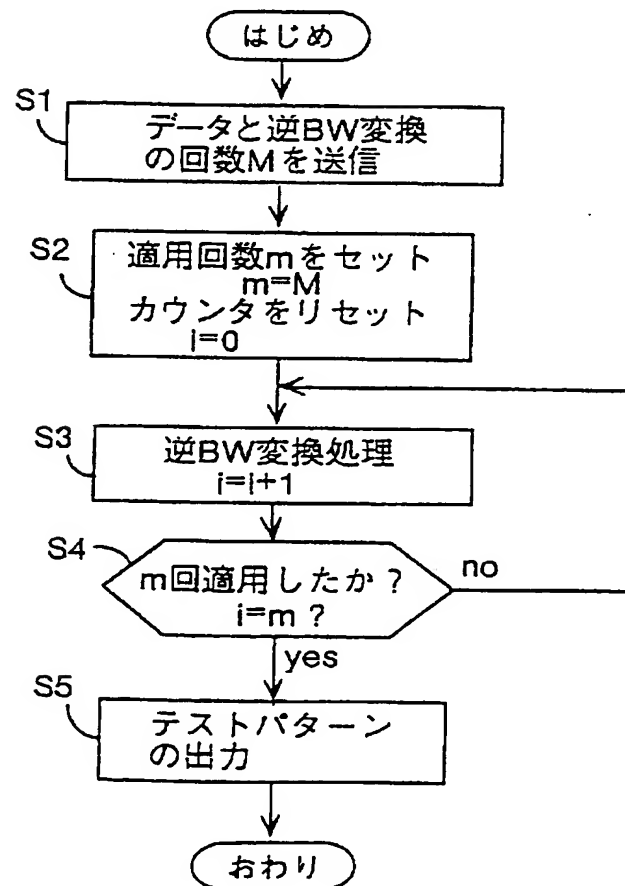


図59

38/74

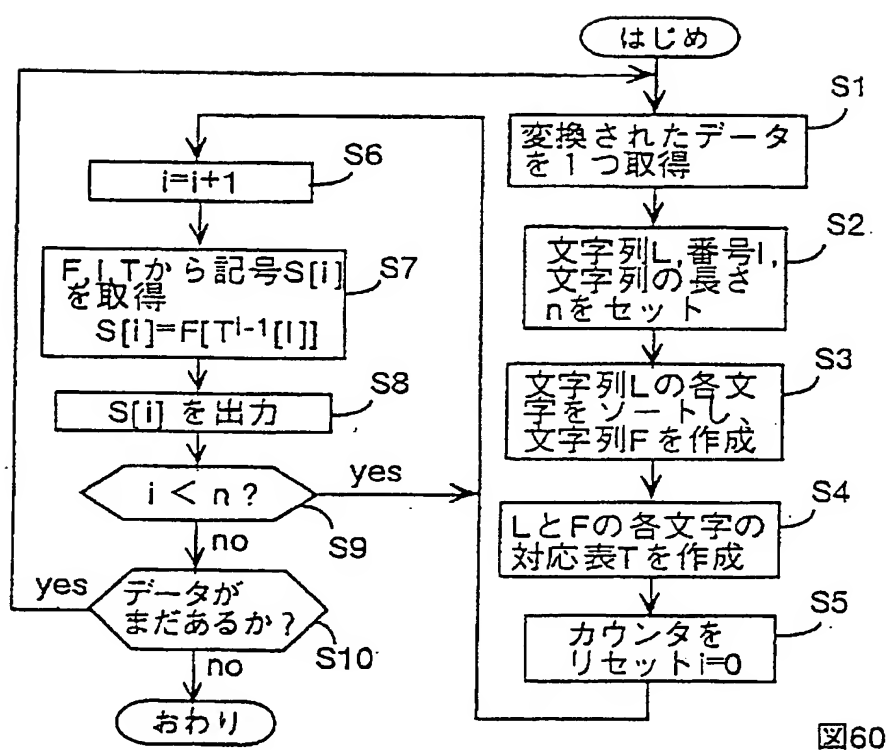


図60

39/74

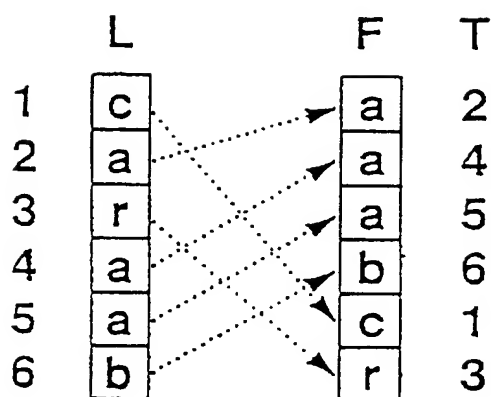


図 6 1

図 6 2

i	$T^{-1}[I]$	$S[i] = F[T^{-1}[I]]$
1	2	a
2	4	b
3	6	r
4	3	a
5	5	c
6	1	a

40/74

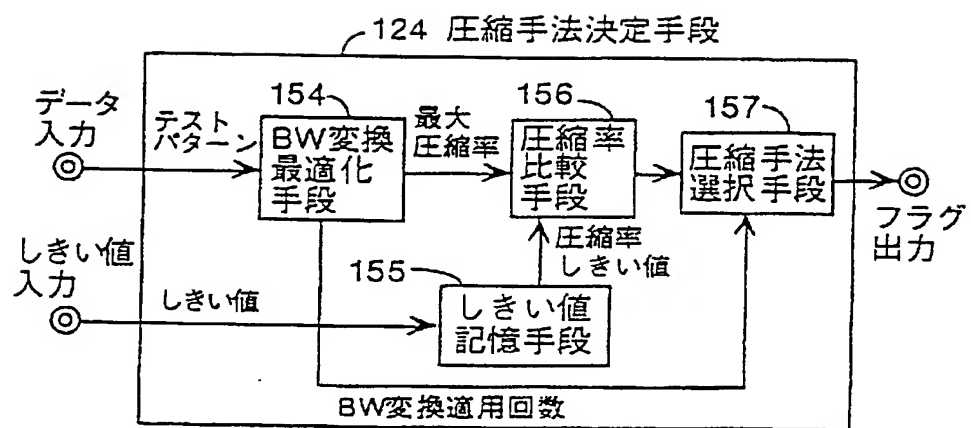


図63



41/74

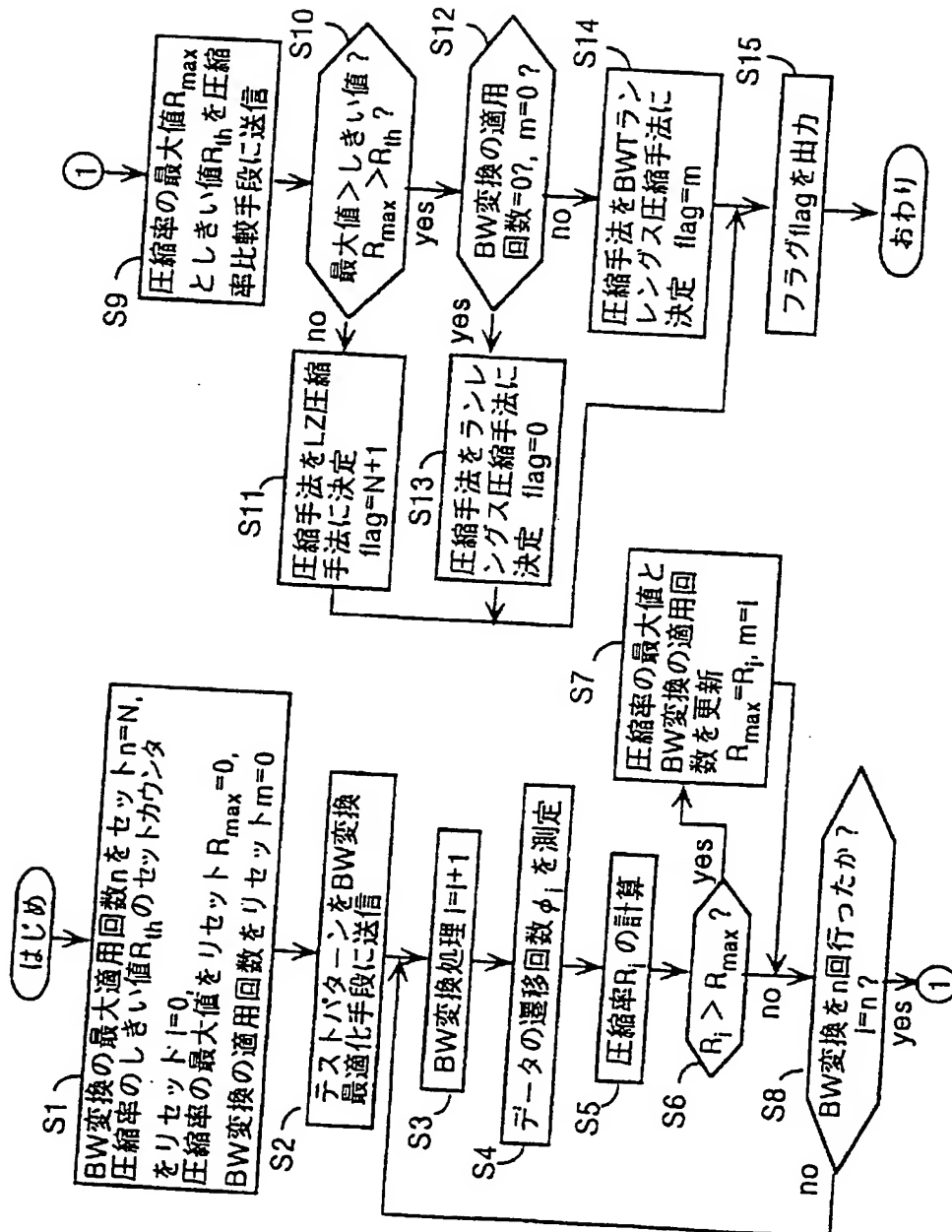
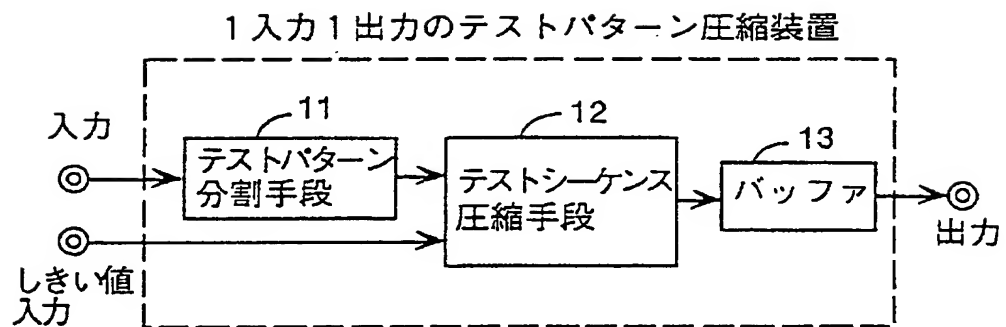


図64

42/74

図 65



43/74

図 66

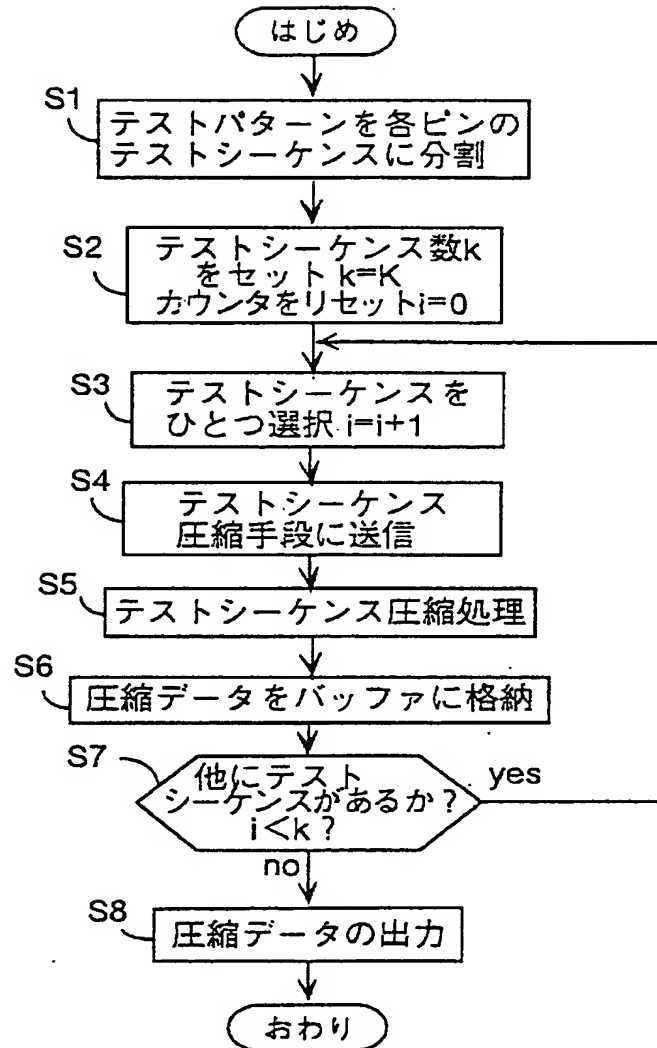
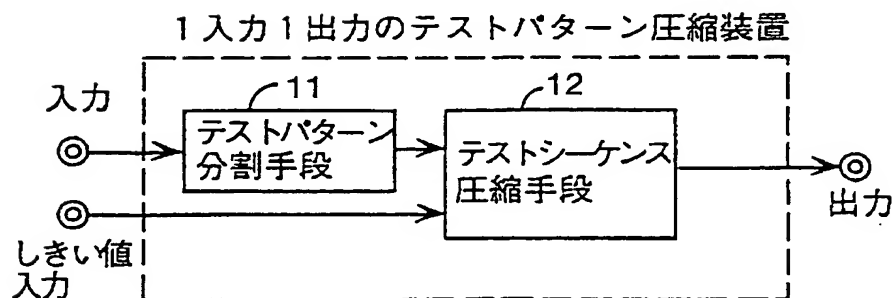
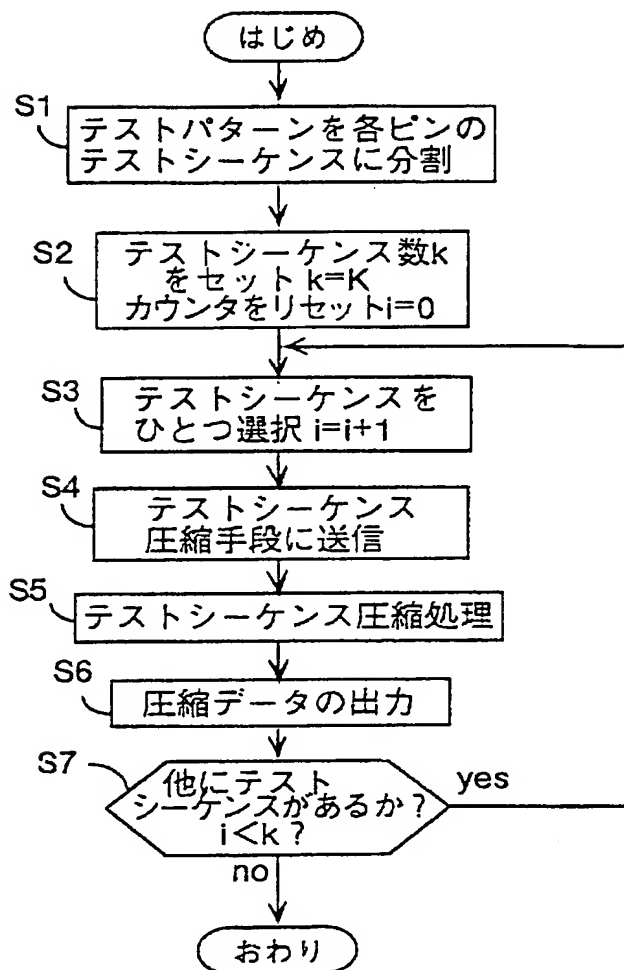


図 67



44/74

図 68



45/74

図 69

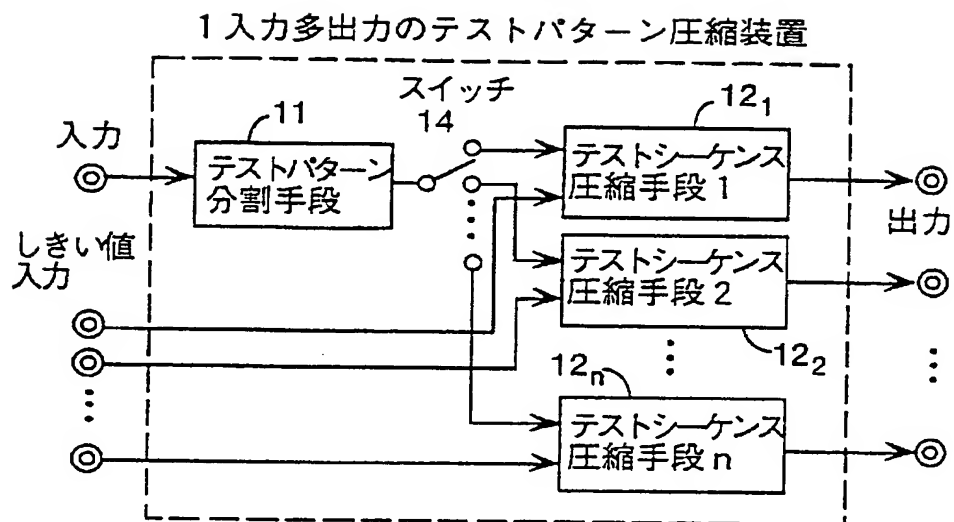
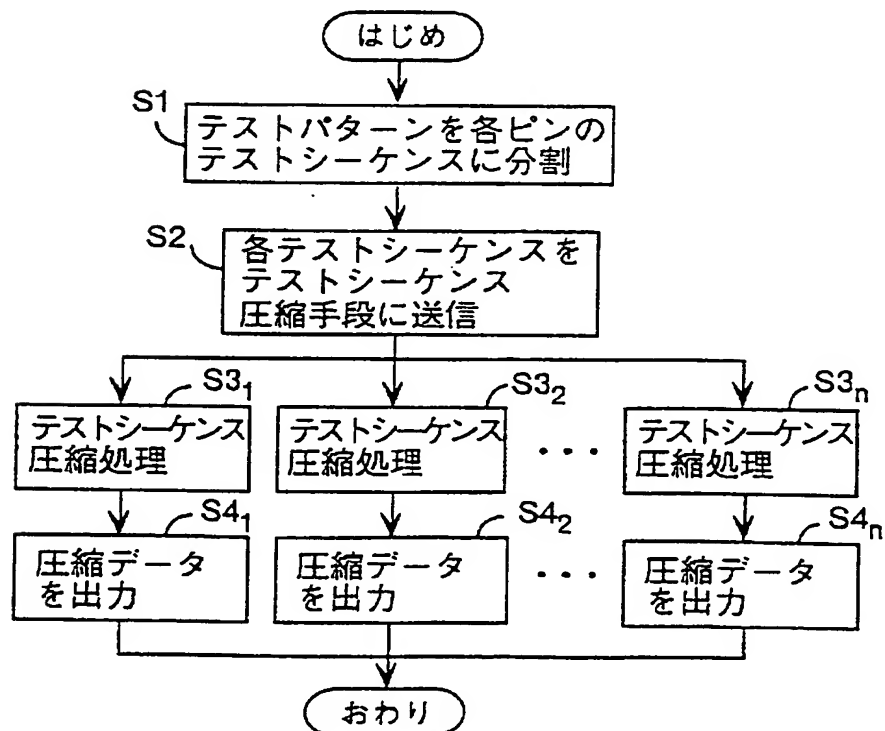


図 70



46/74

図 71

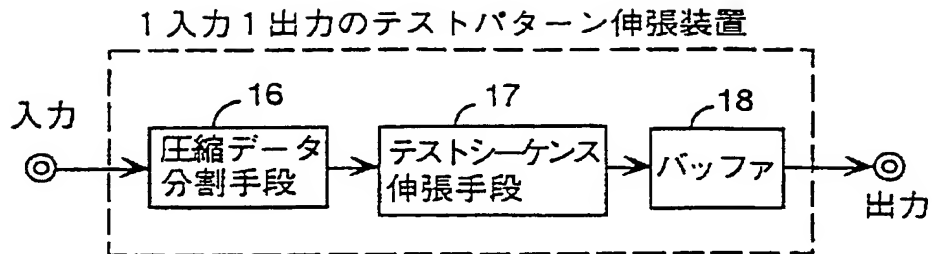
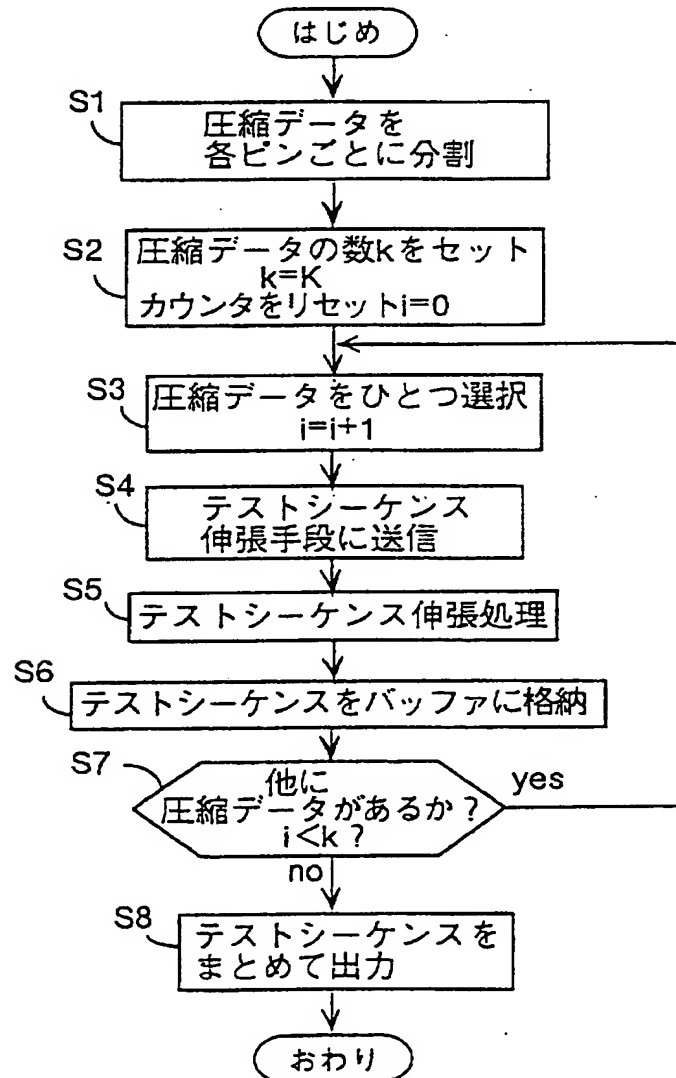


図 72



47/74

図 73

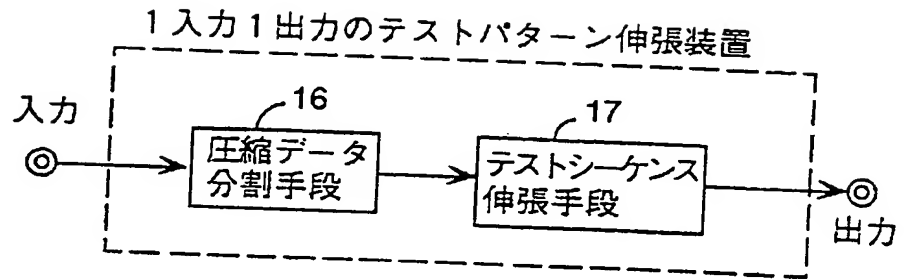
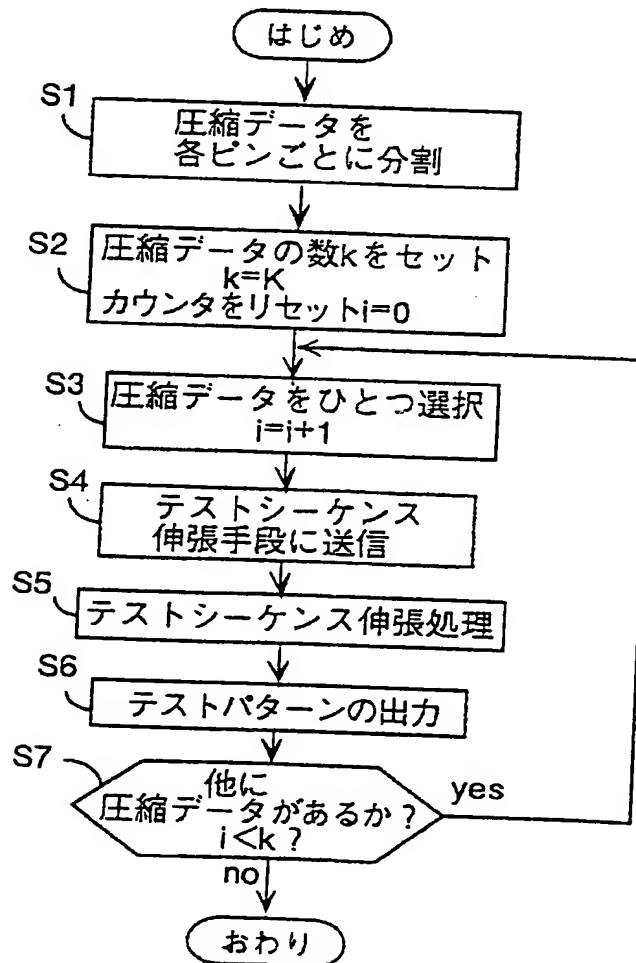


図 74



48/74

図 75

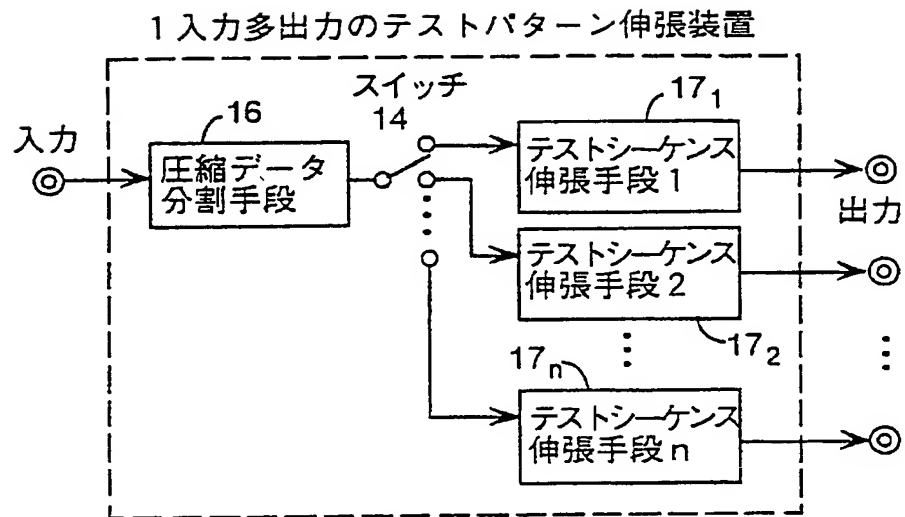
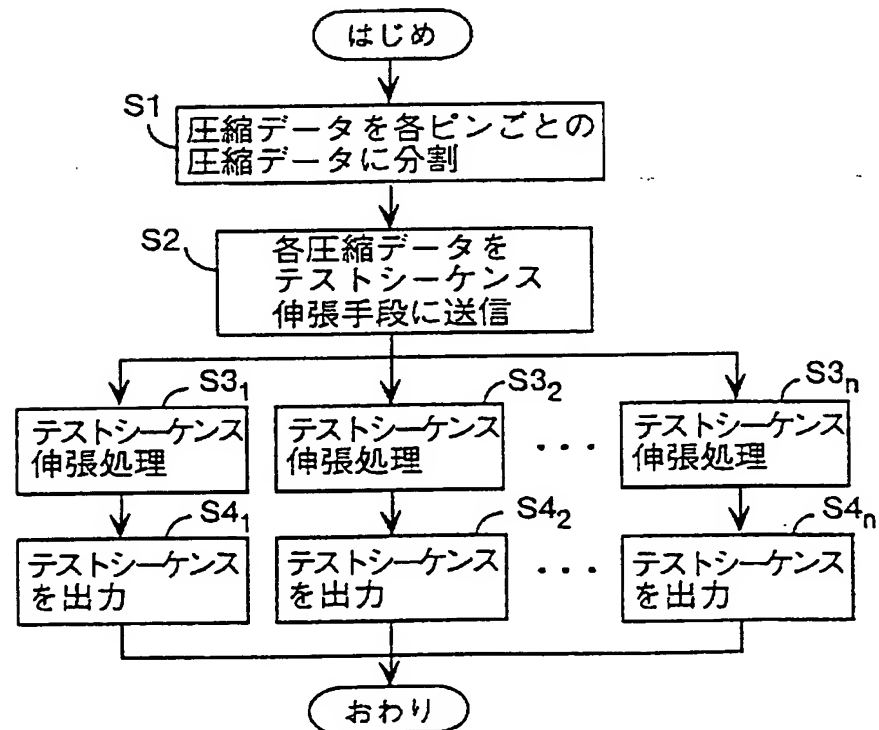


図 76





49/74

図 77

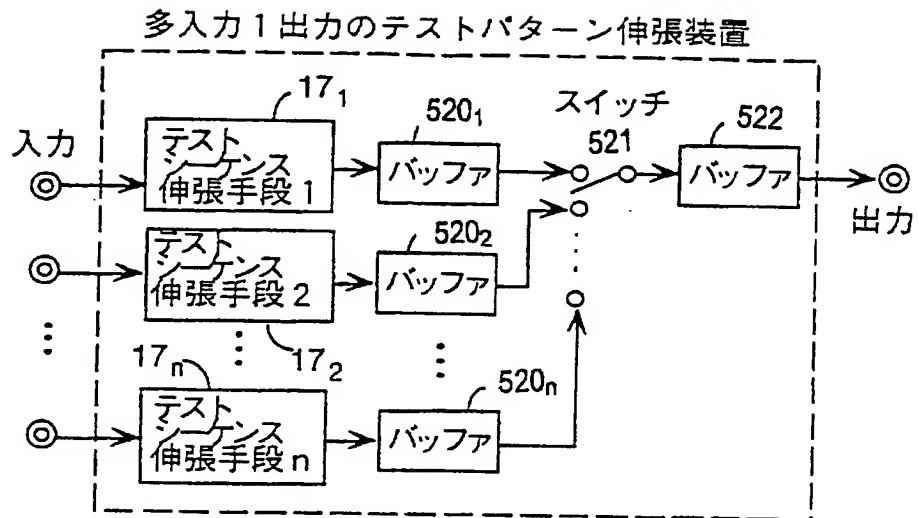
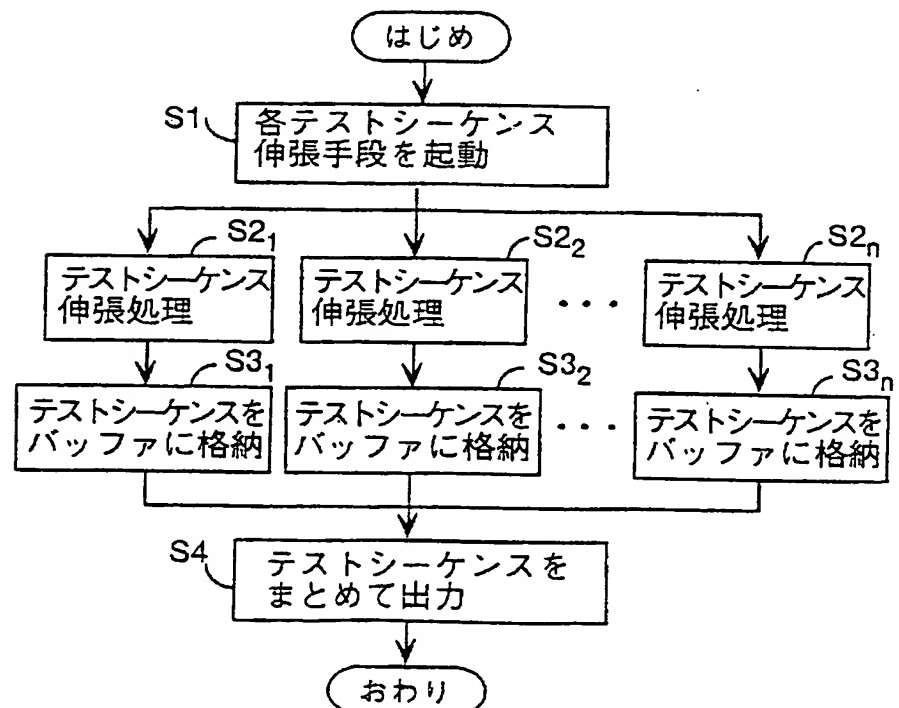


図 78



50/74

図 79

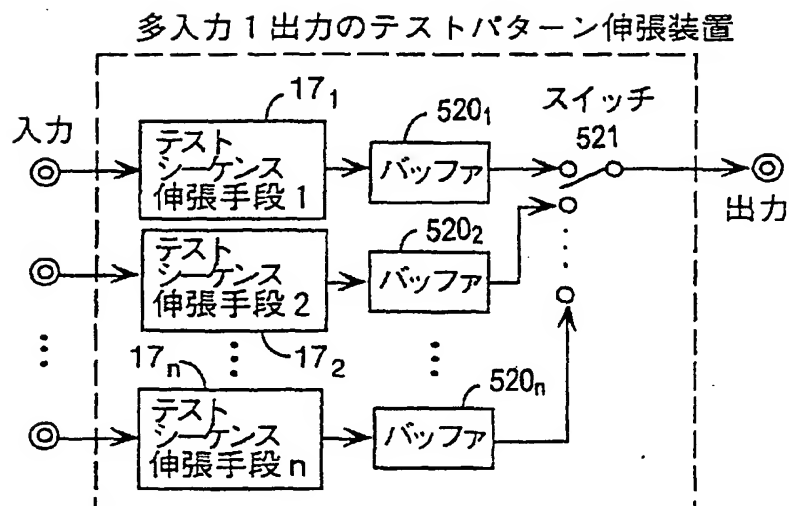
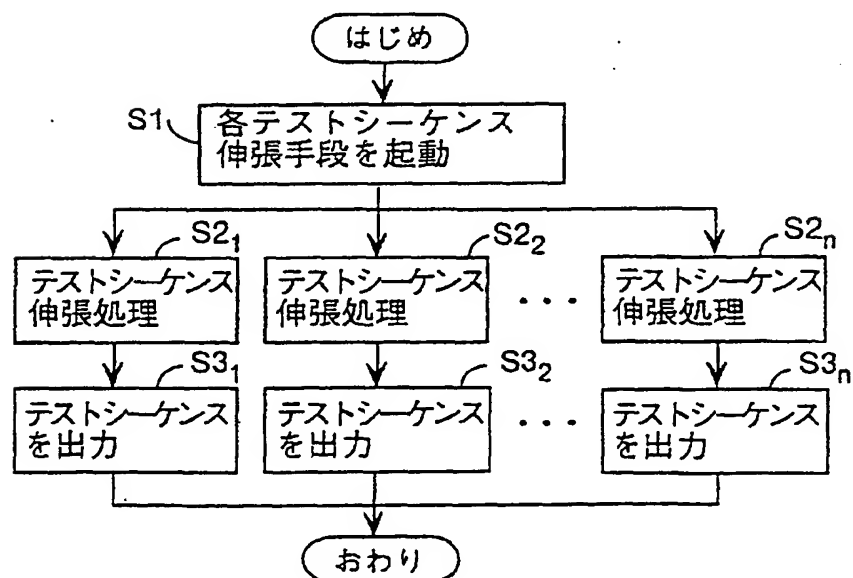
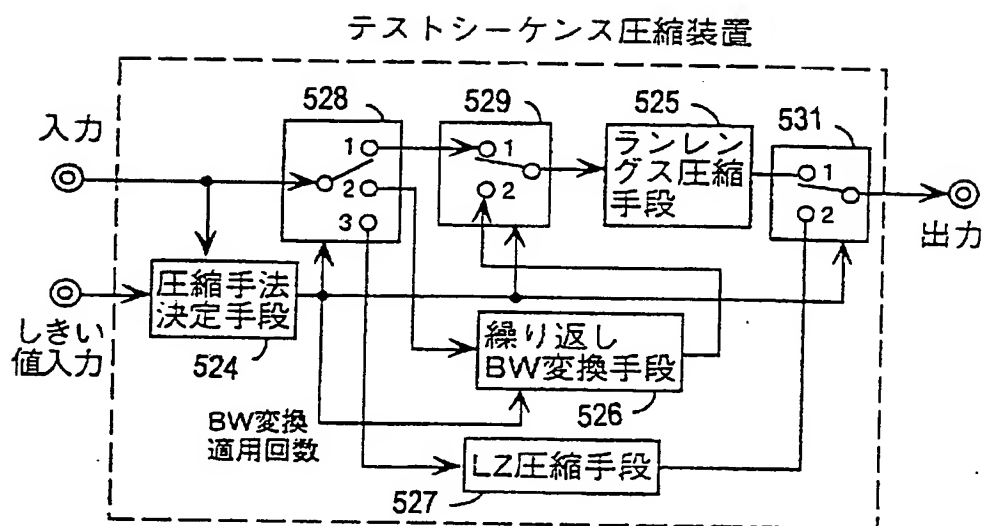


図 80



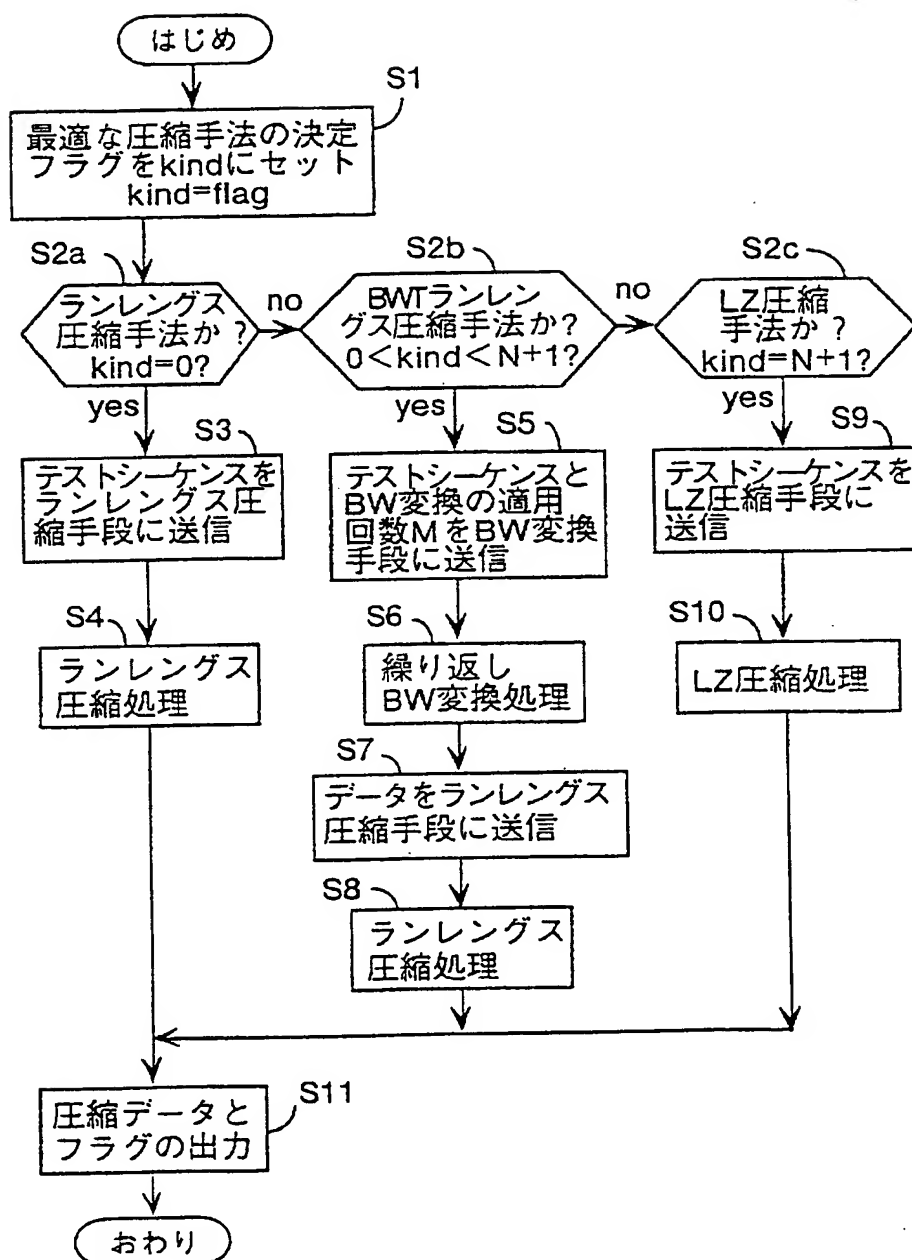
51/74

図 81



52/74

図 82



53/74

図 83

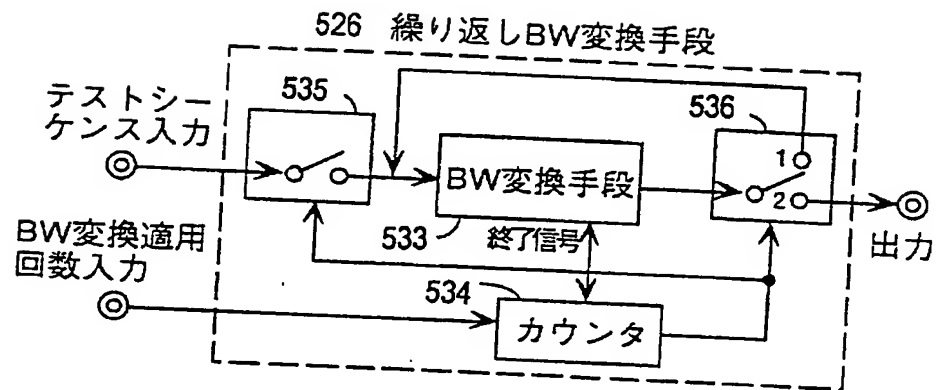
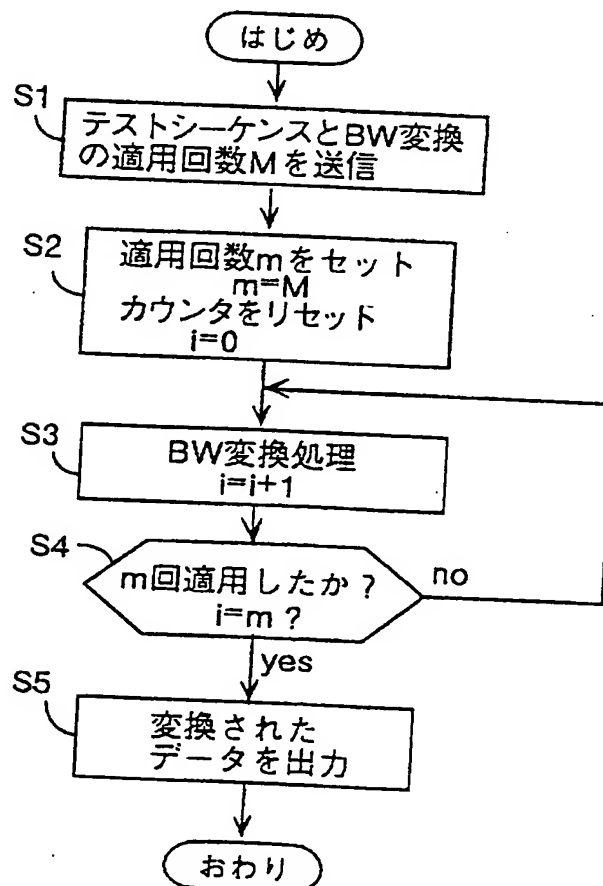
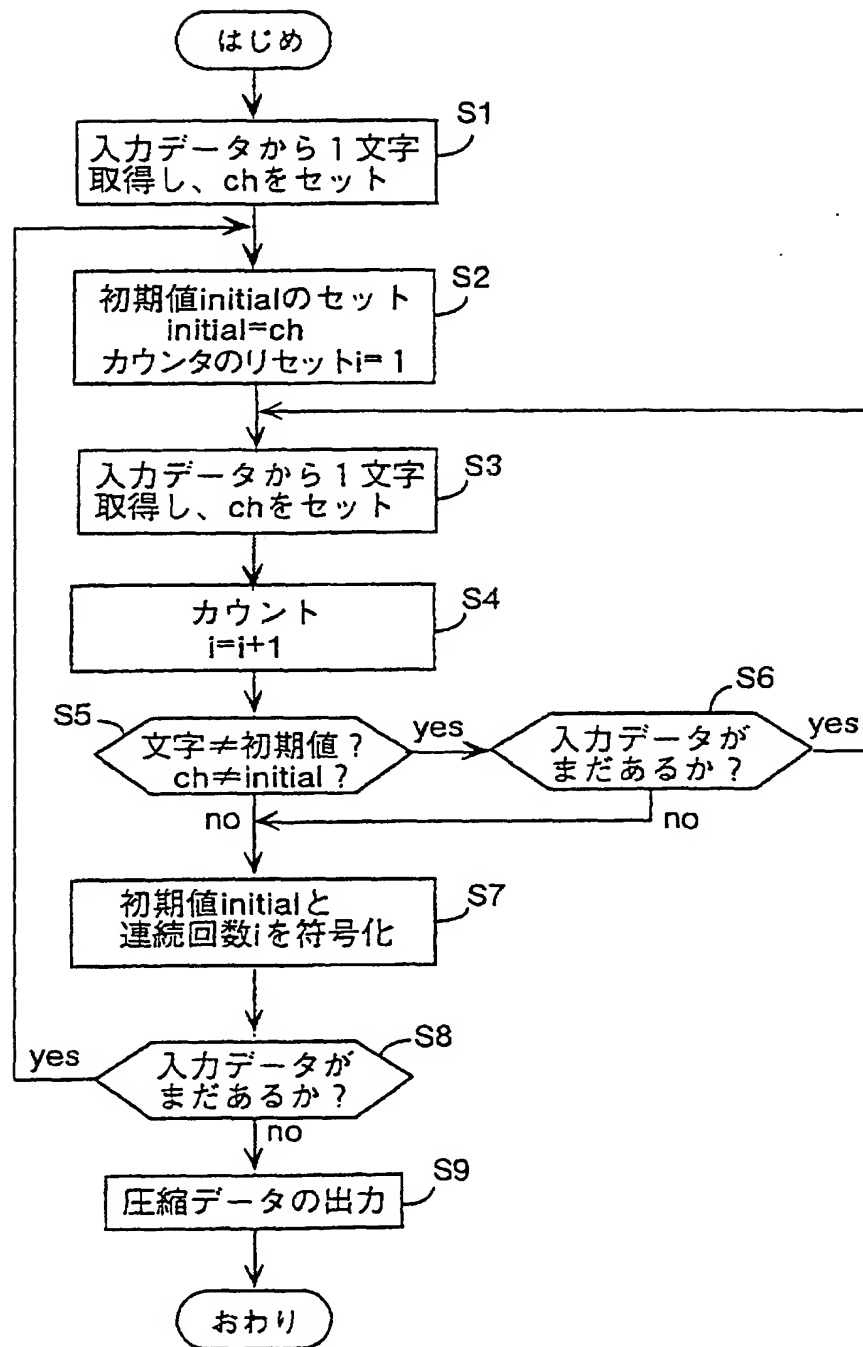


図 84



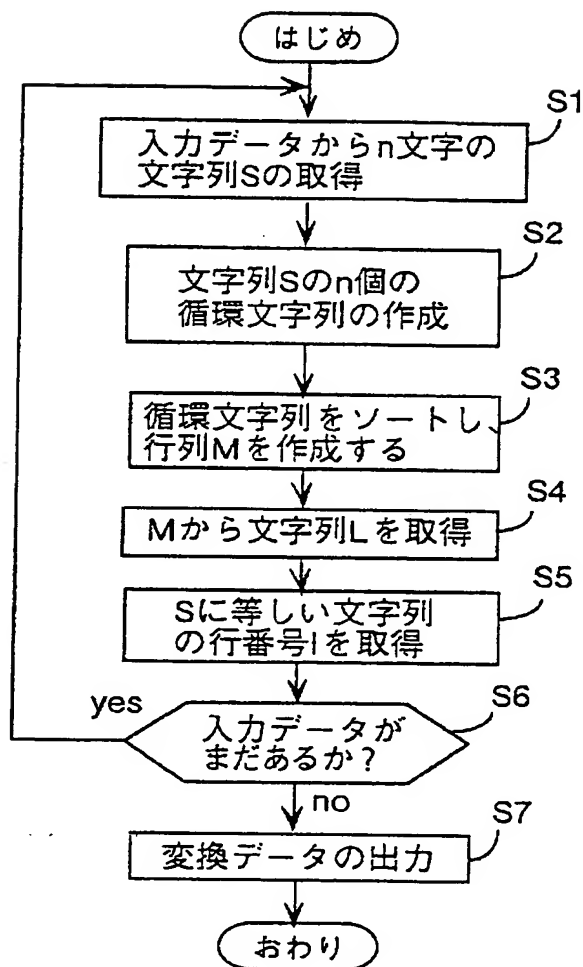
54/74

図 85

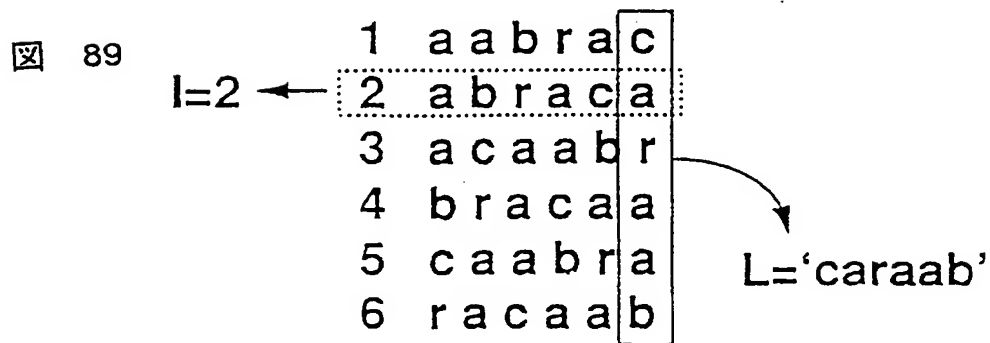
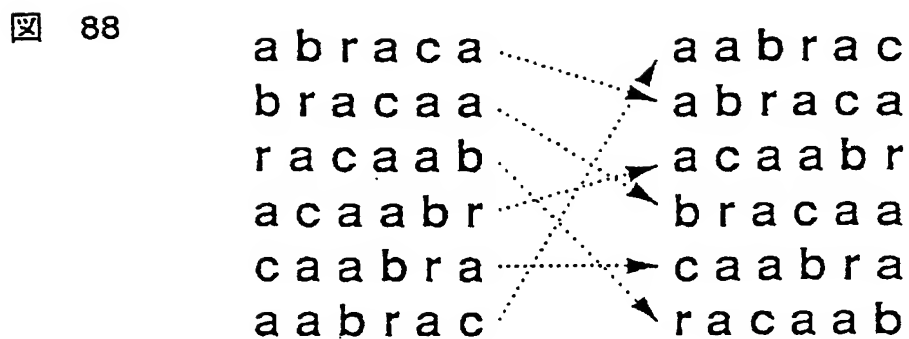
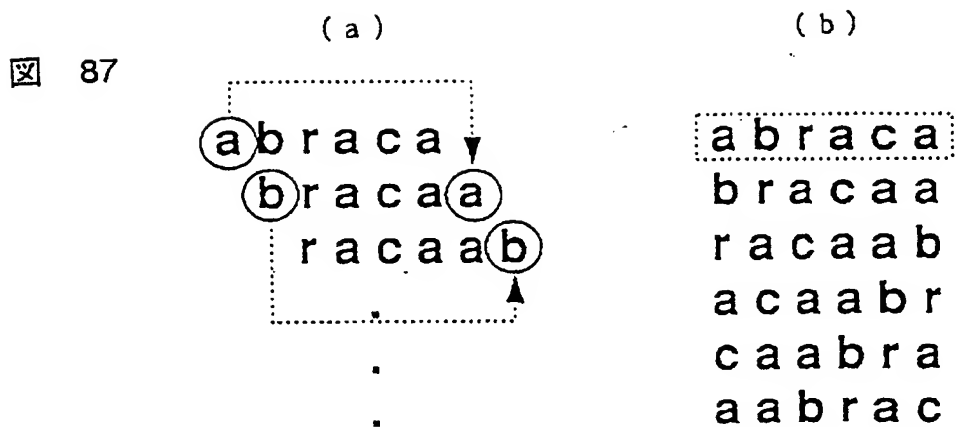


55/74

図 86



56/74





57/74

図 90

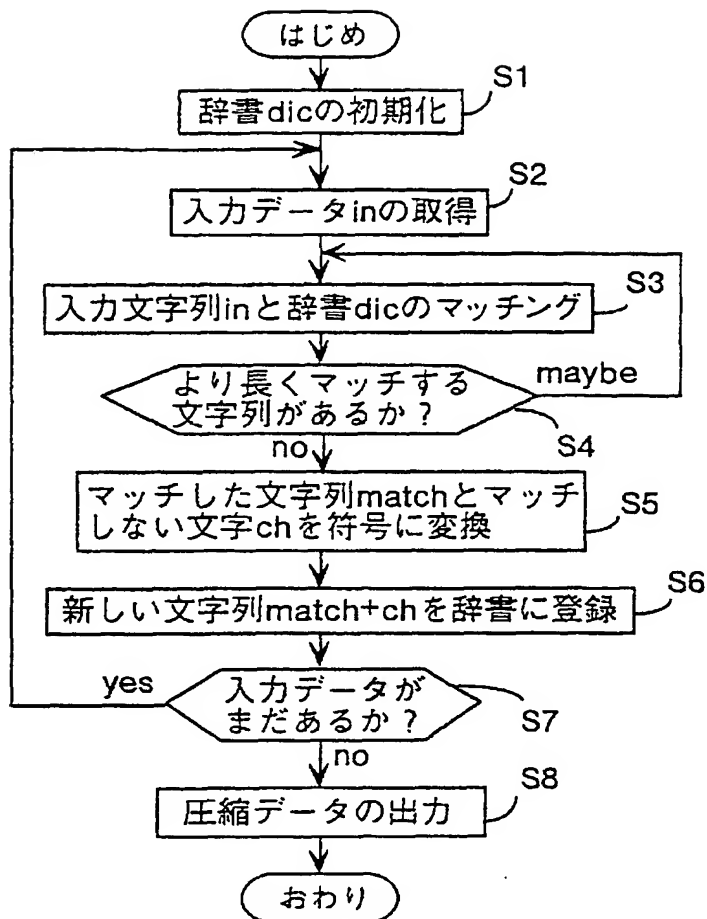
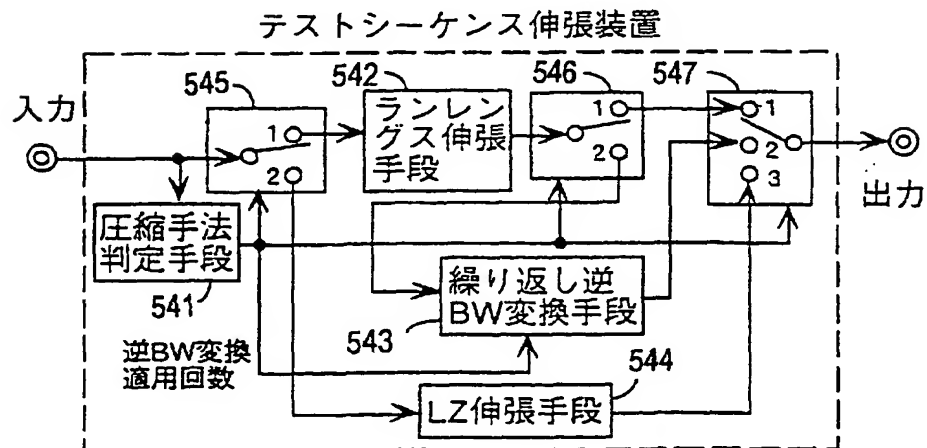
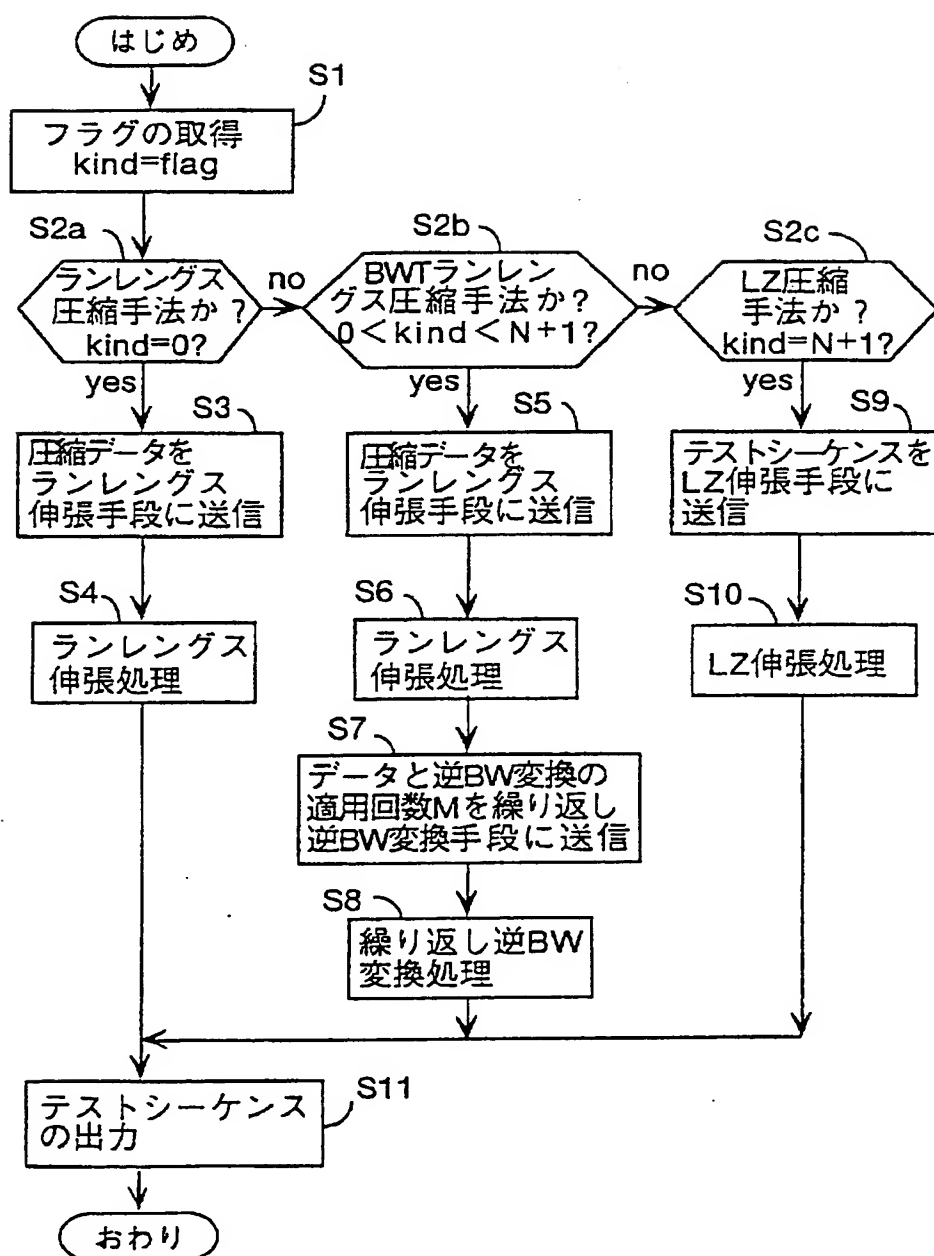


図 91



58/74

図 92



59/74

図 93

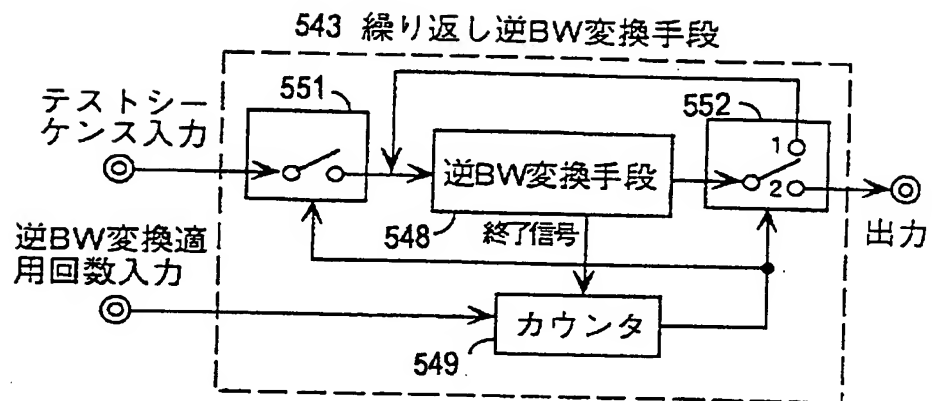
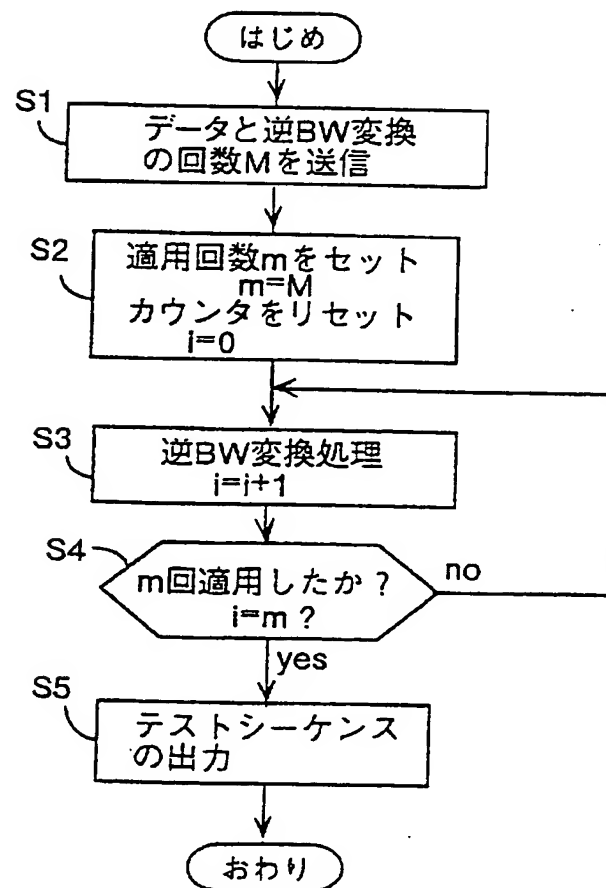


図 94



60/74

図 95

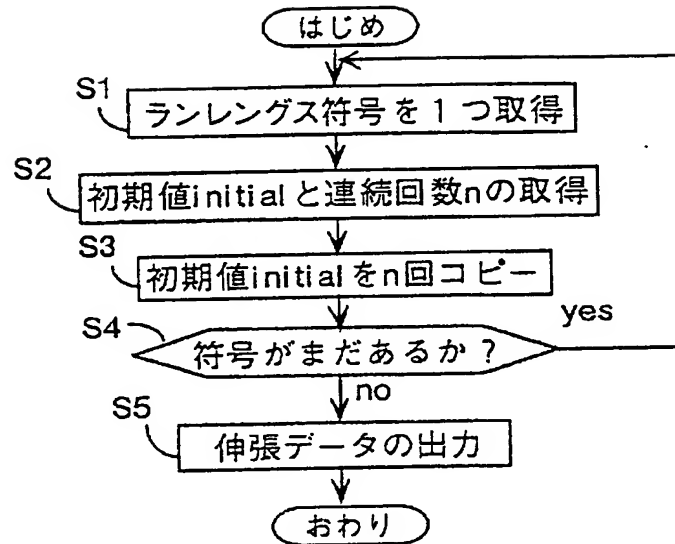
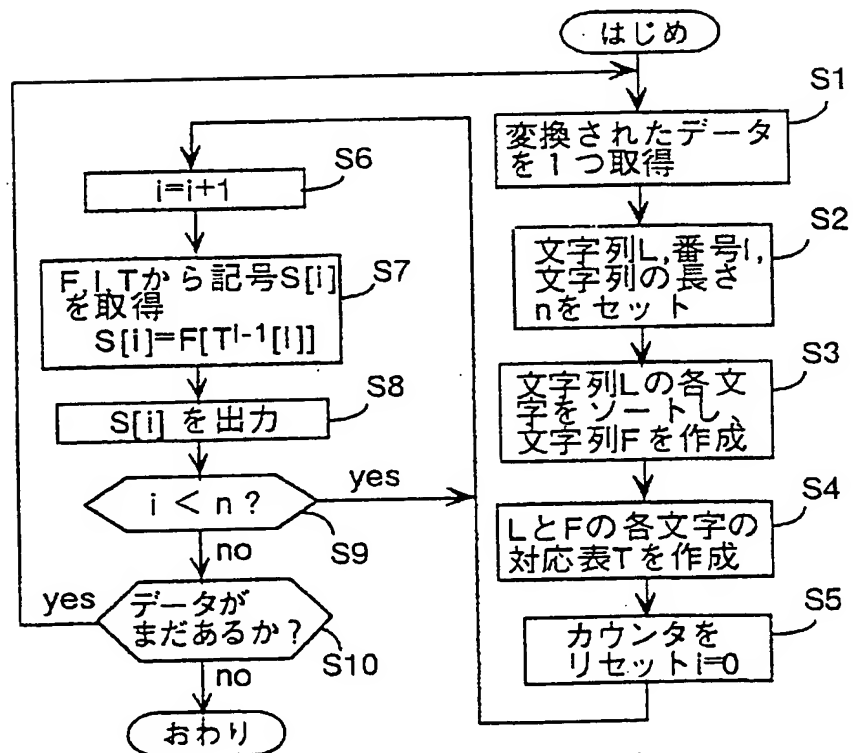
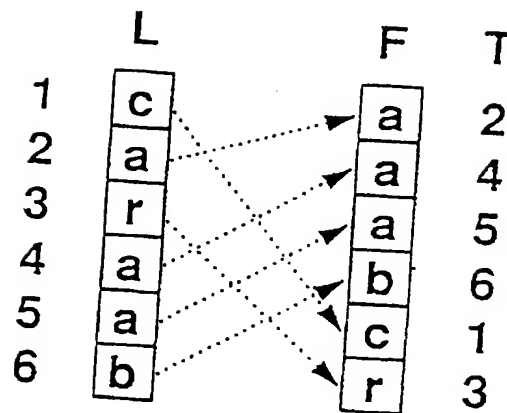


図 96



61/74

97



98

i	$T^{-1}[i]$	$S[i]=F[T^{-1}[i]]$
1	2	a
2	4	b
3	6	r
4	3	a
5	5	c
6	1	a

62/74

図 99

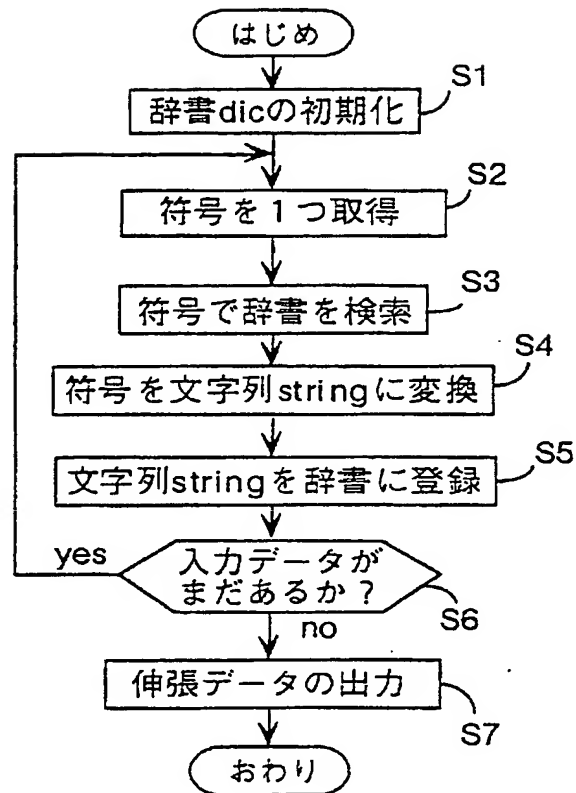
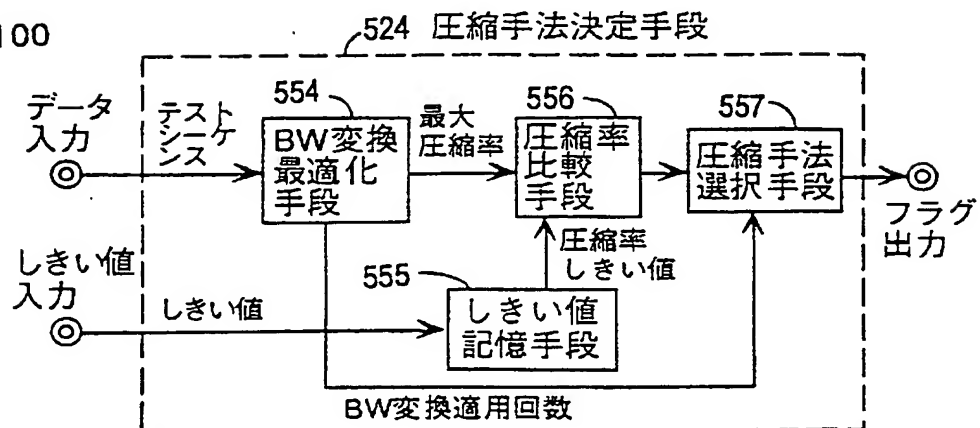
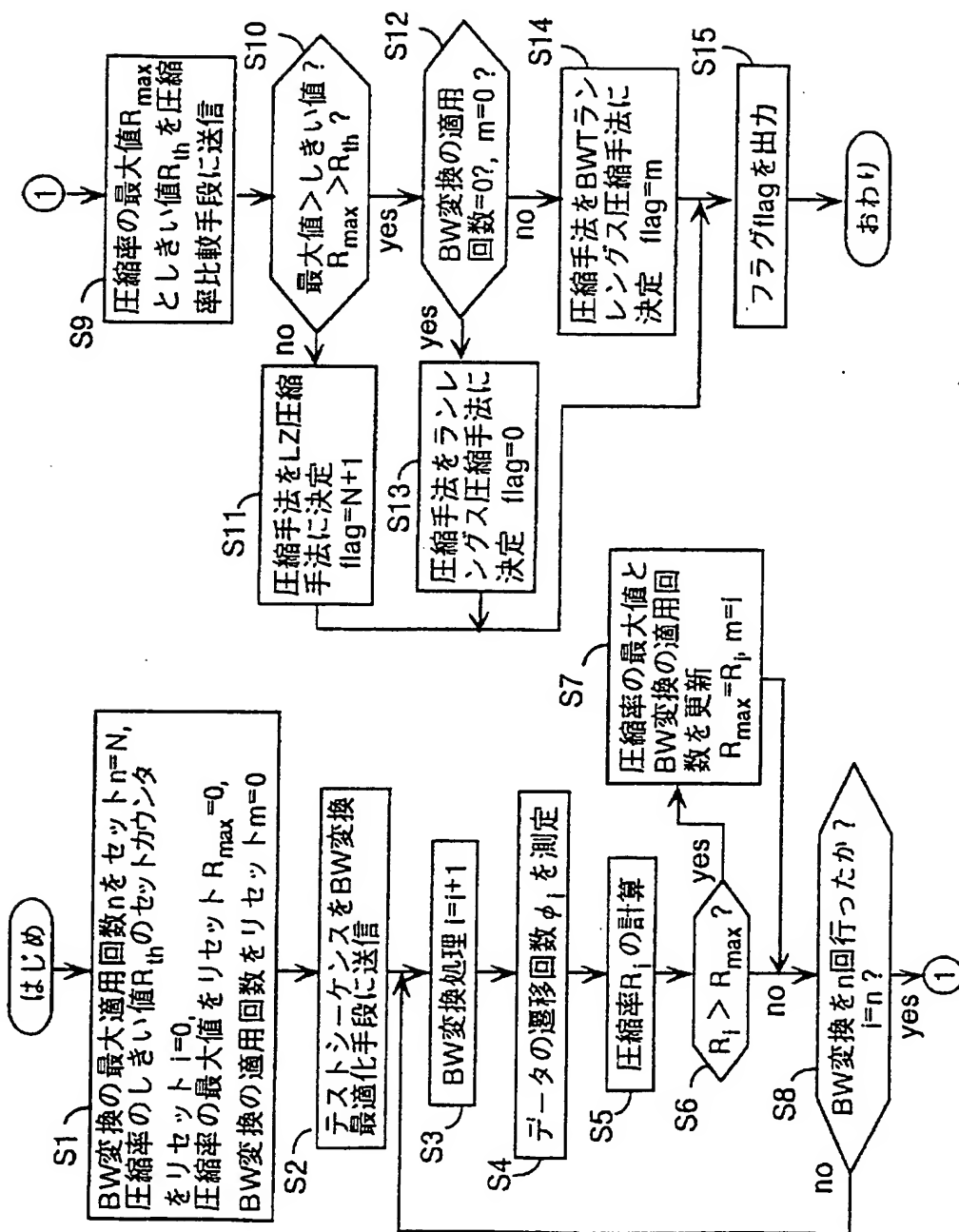


図 100



63/74

図 101



64/74

図 102

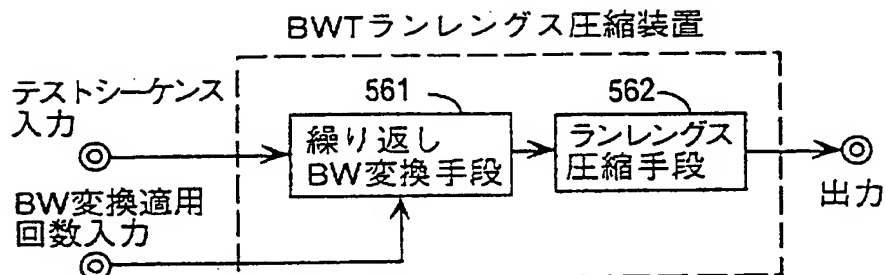
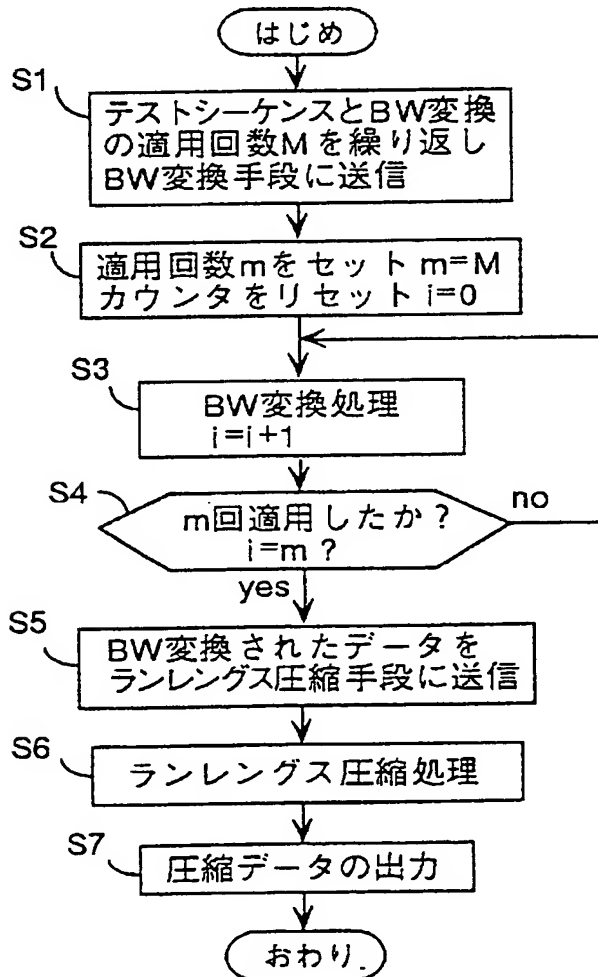


図 103





65/74

図 104

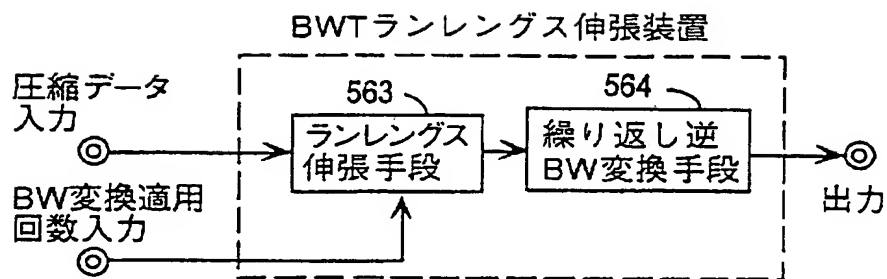


図 105

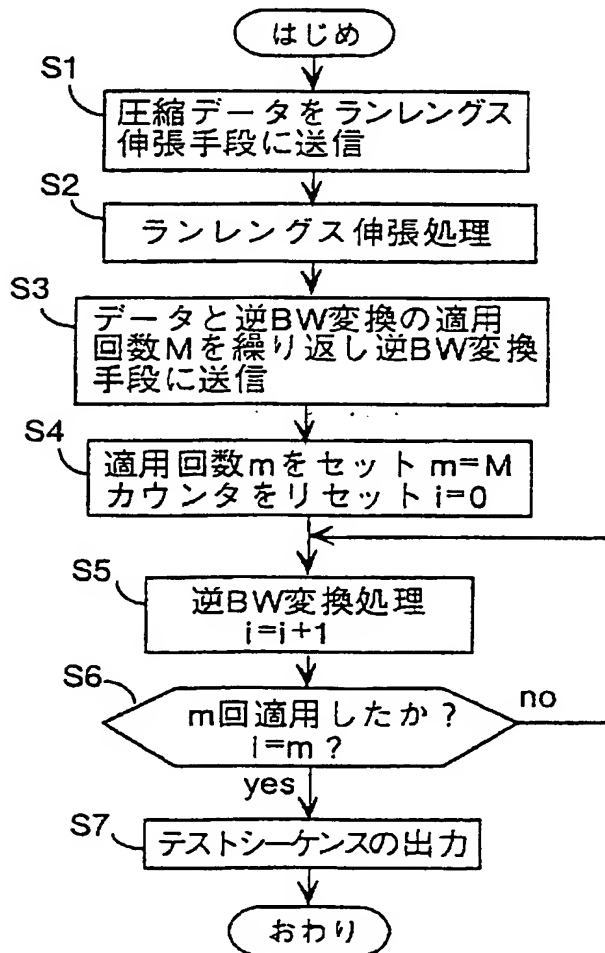
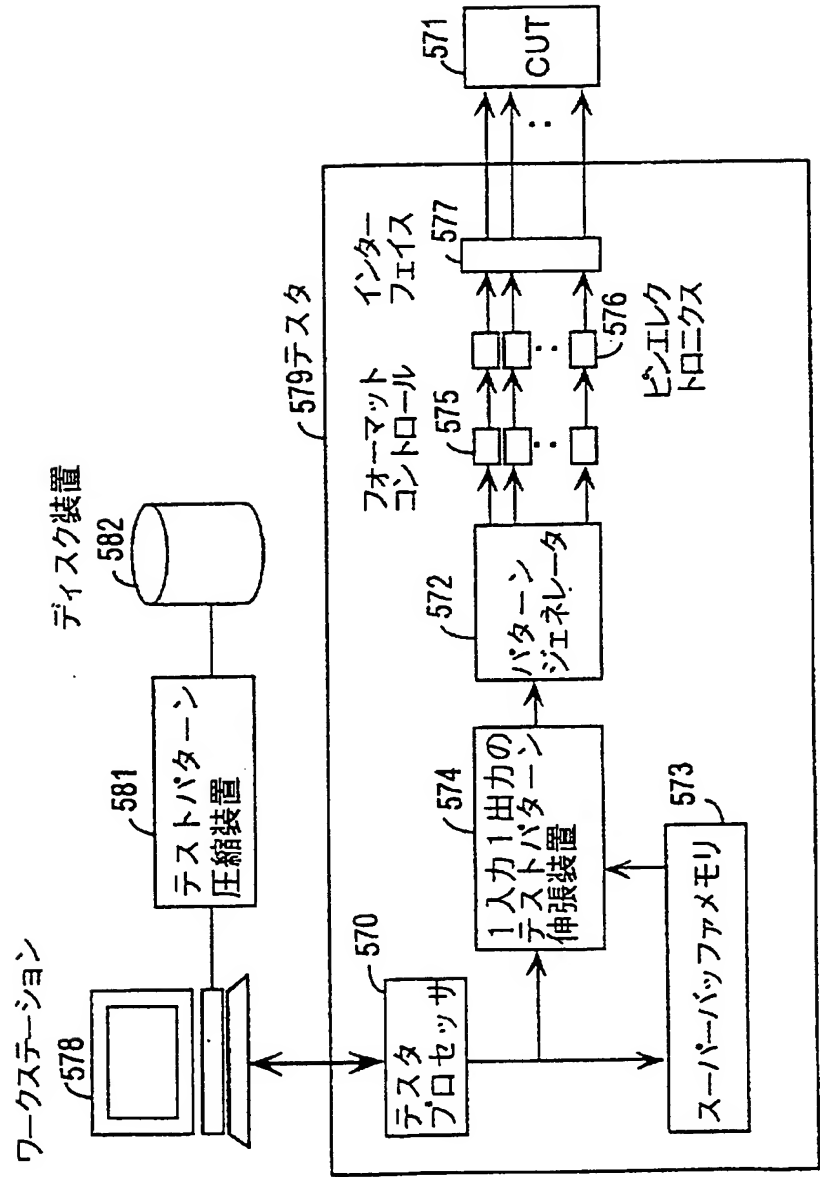
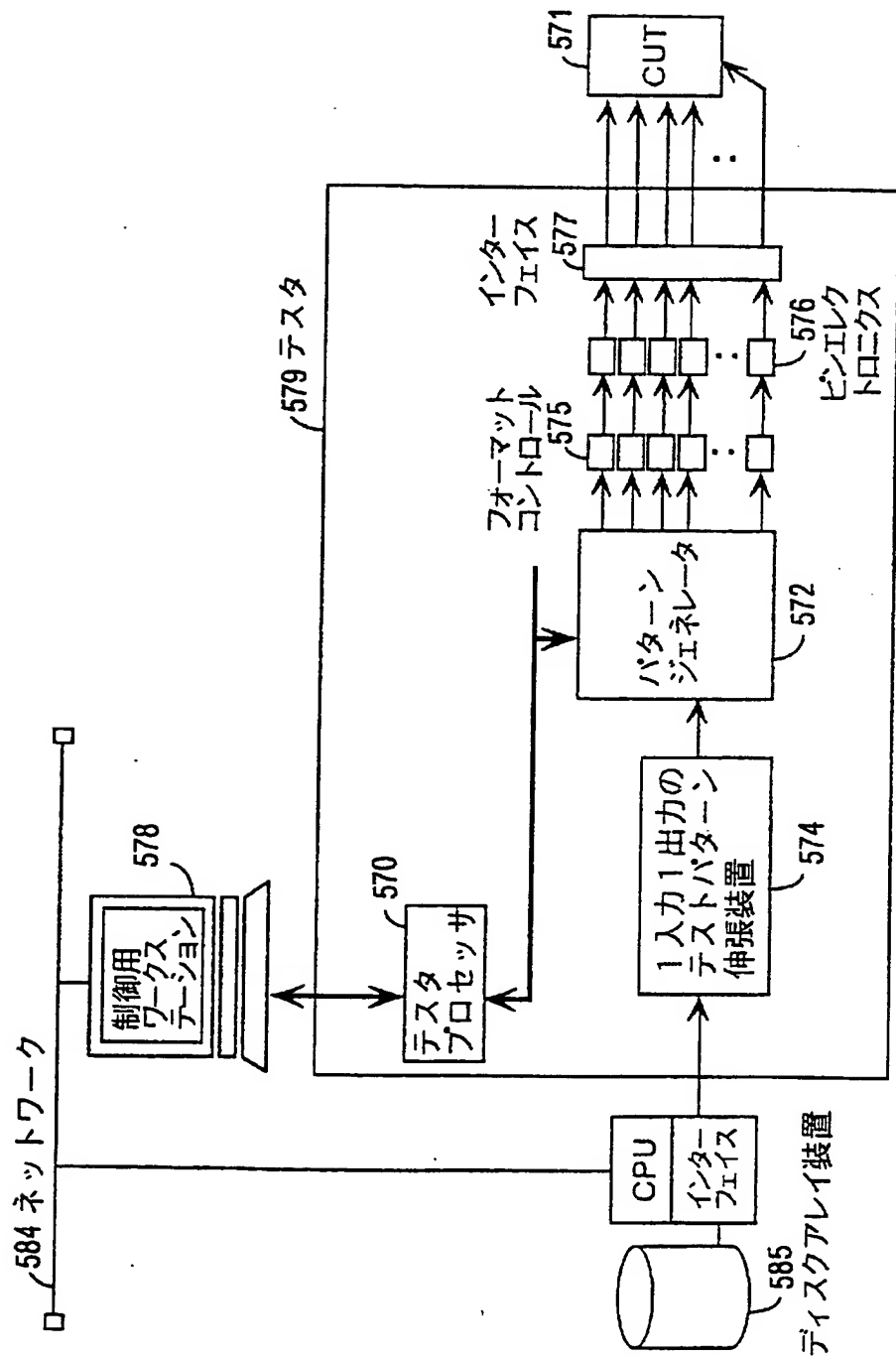


図 106



67/74

図 107



68/74

図 108

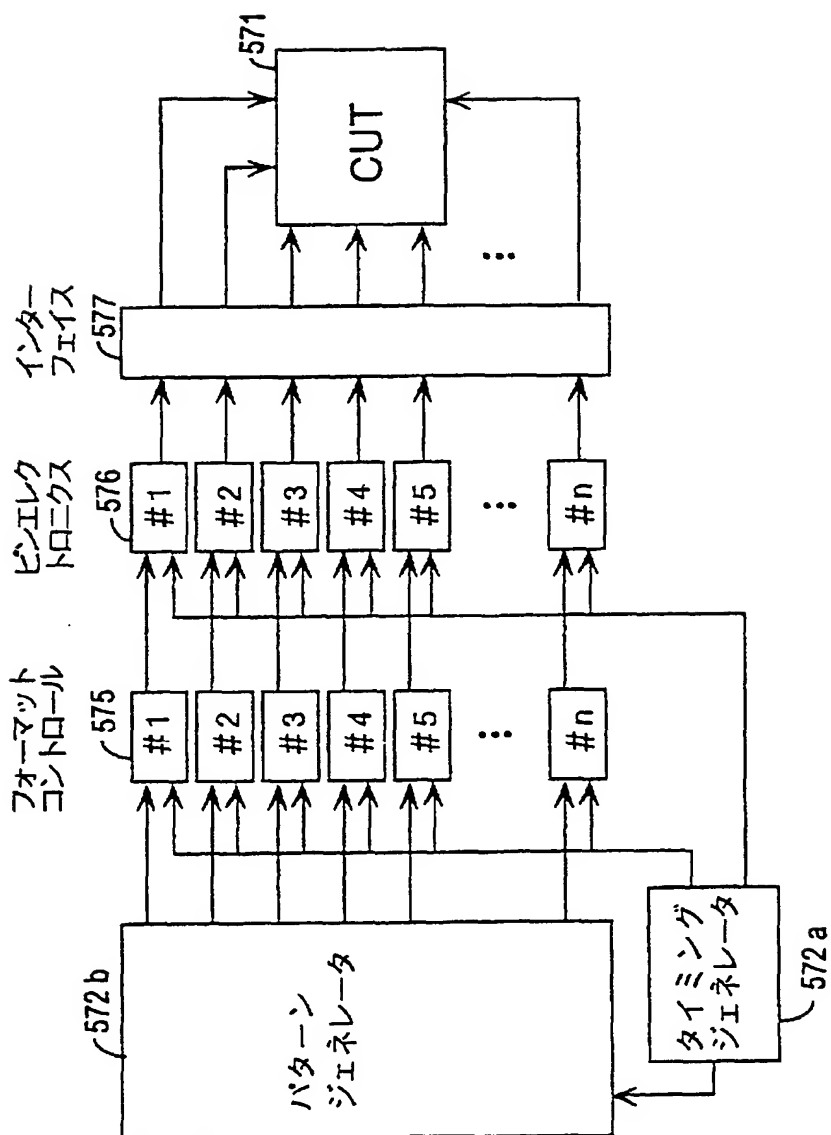
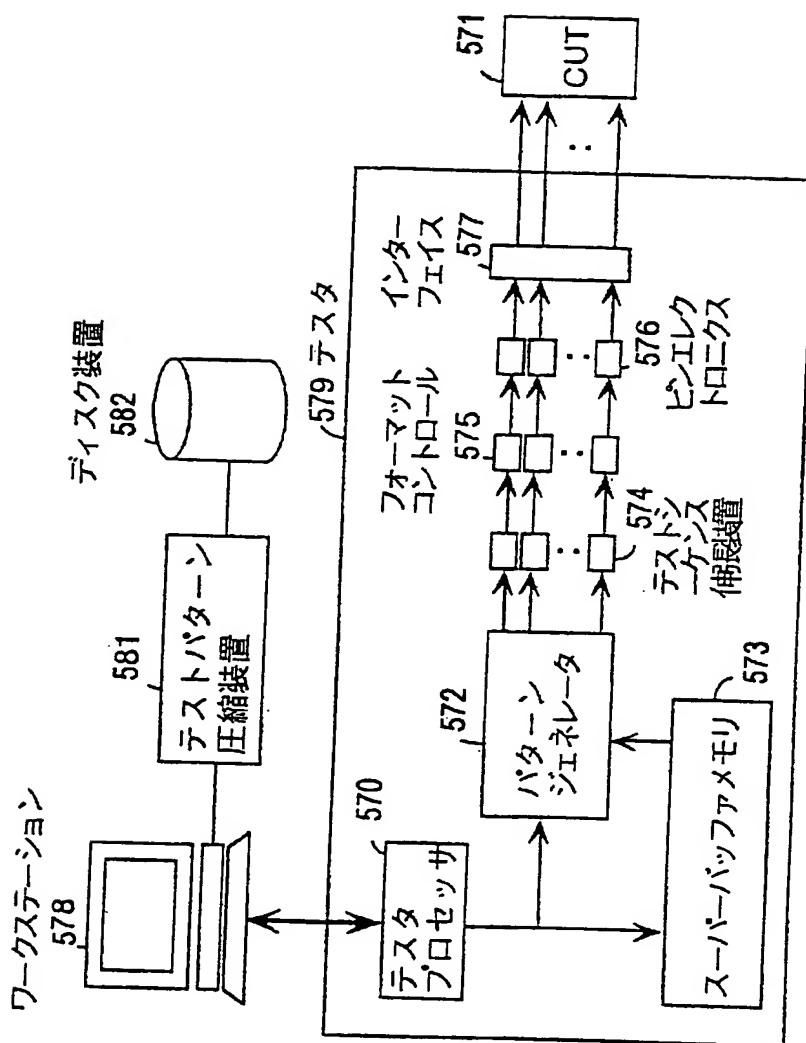
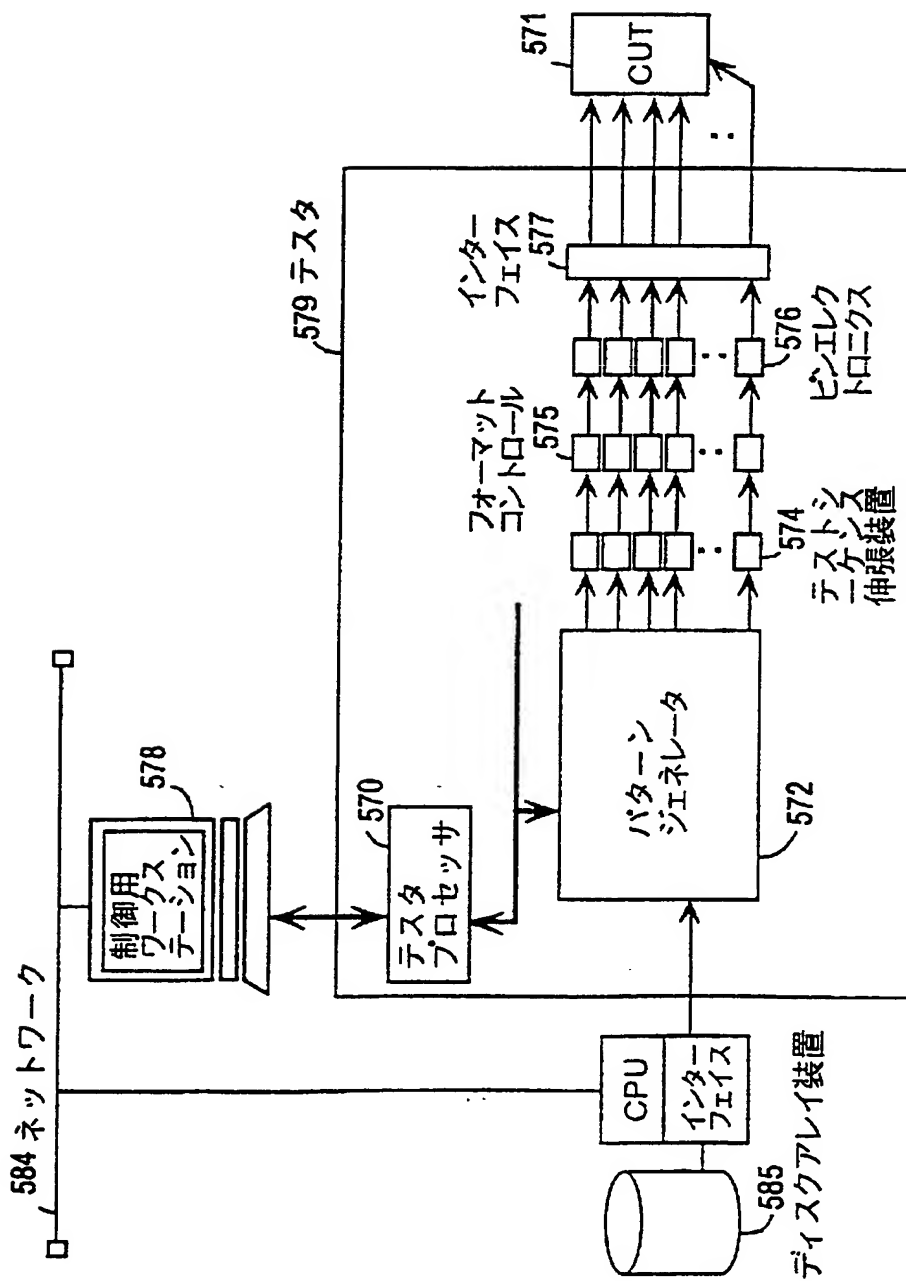


图 109



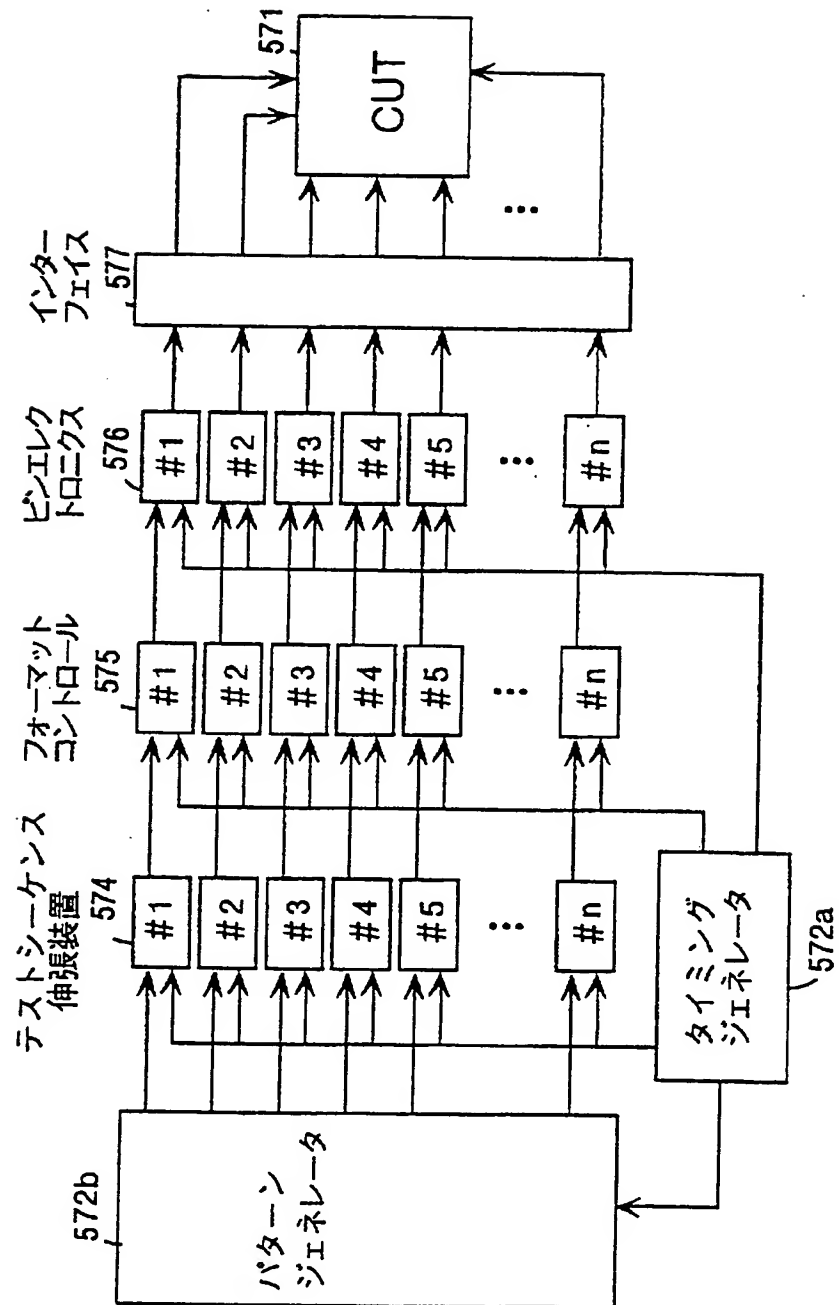
70/74

図 110



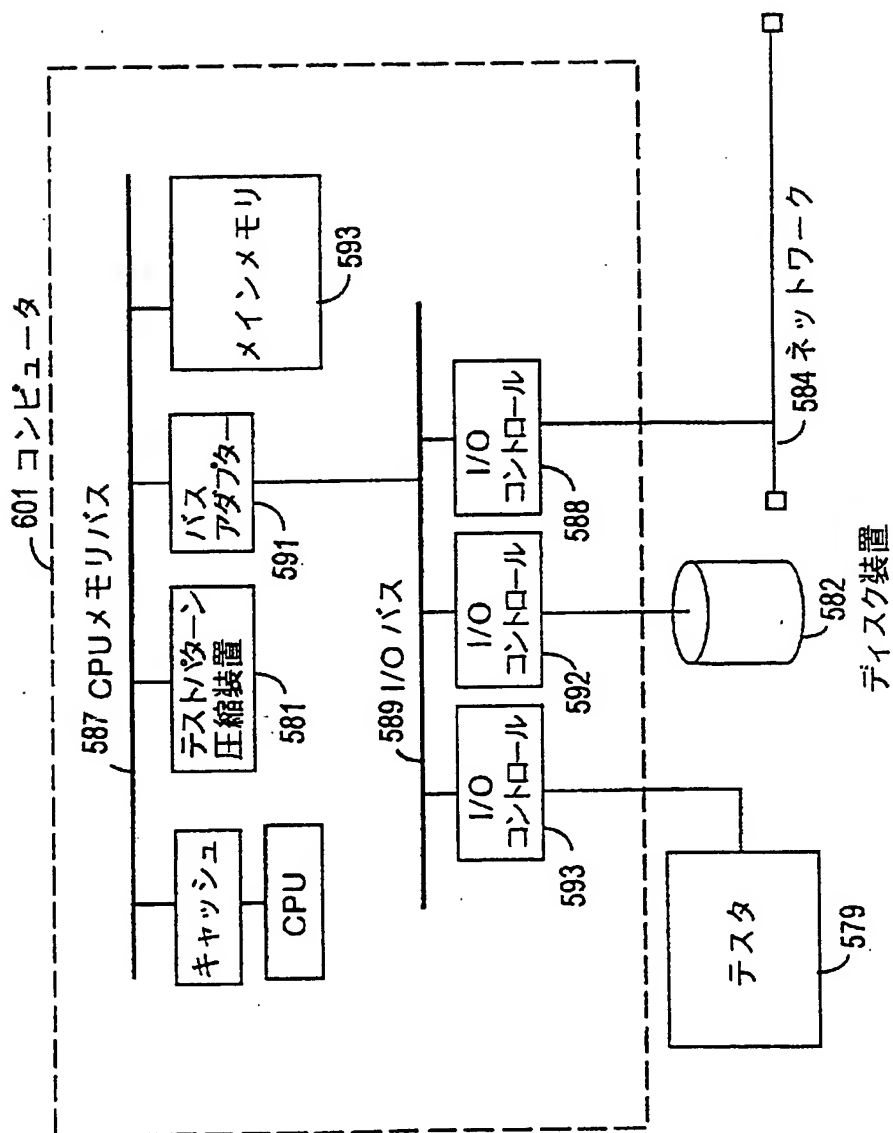
71/74

図 111



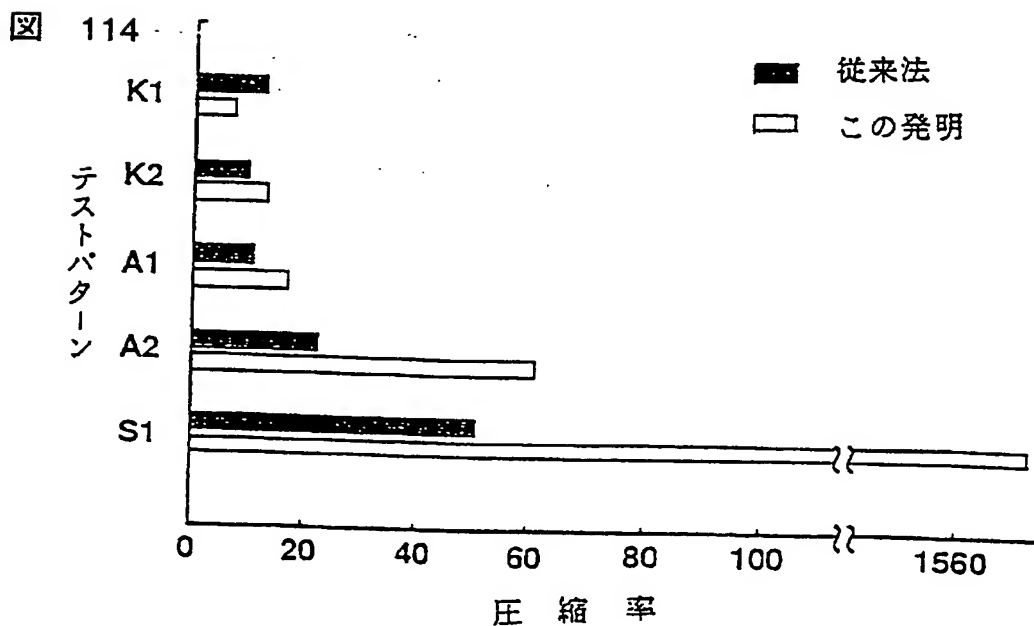
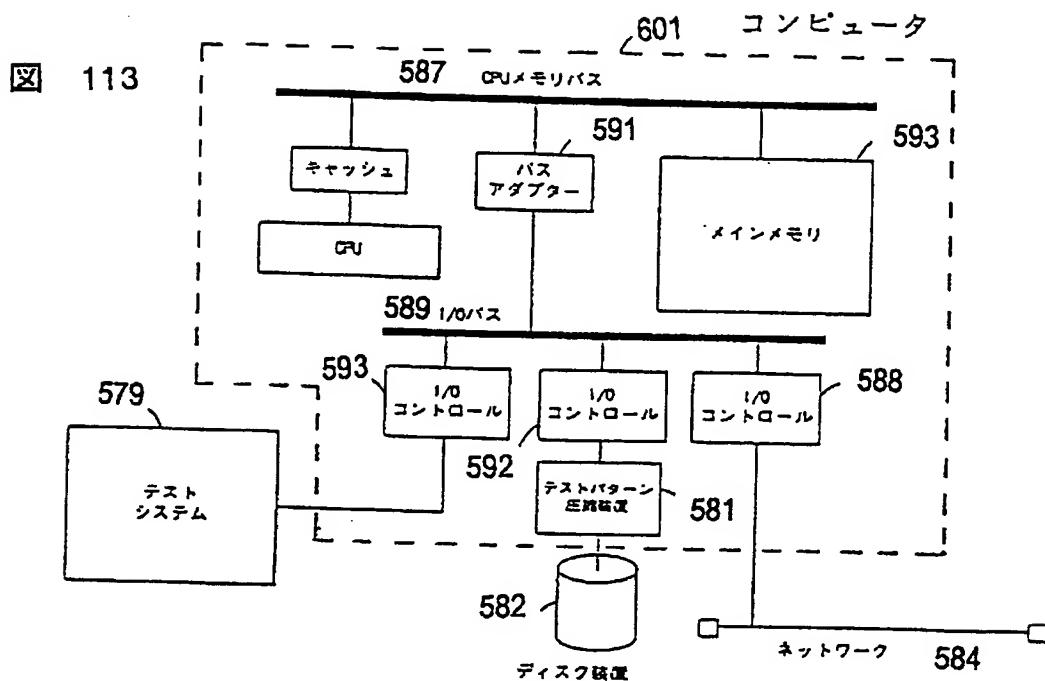
72/74

図 112





73/74



74/74

図 115

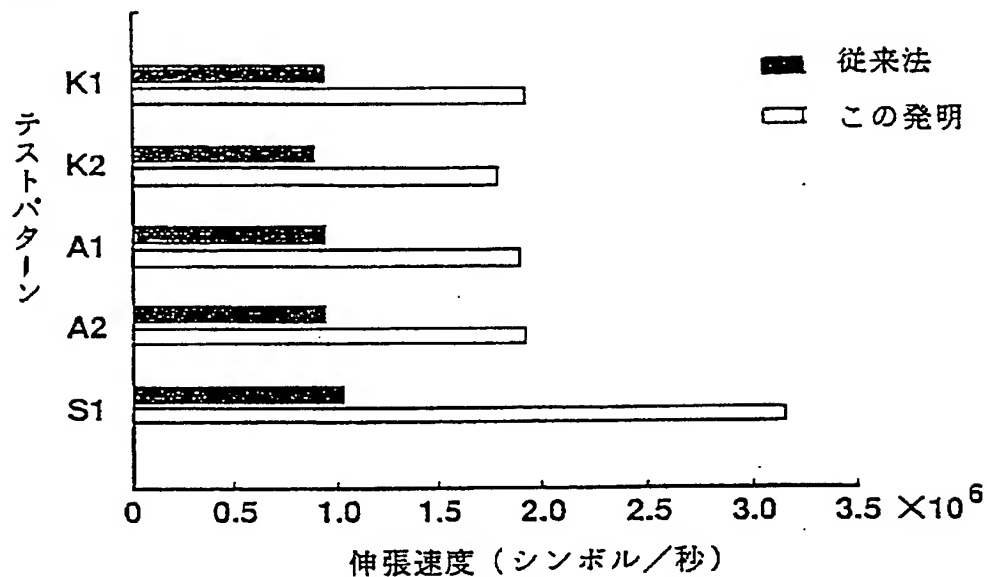
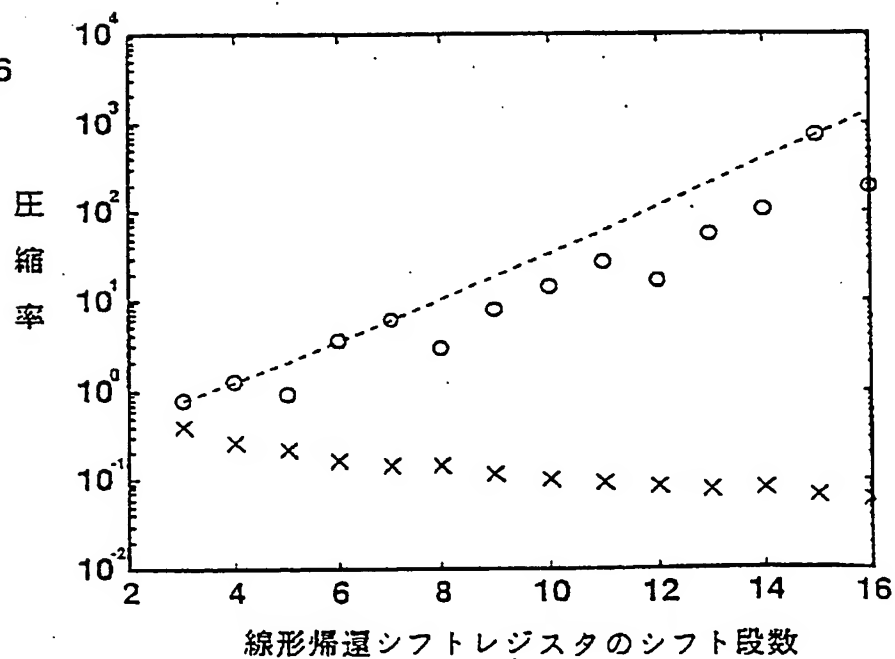


図 116



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/01273

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>6</sup> H03M7/40, H03M7/46, G01R31/3183

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>6</sup> H03M7/40, H03M7/46

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1998 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1998  
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1998 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1998

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, 62-118642, A (Canon Inc.), May 30, 1987 (30. 05. 87), Refer to Figs. 1 to 4, 12 and their illustration (Family: none)	1, 2, 4, 20, 21, 24
Y		3, 5-19, 22, 23, 25-50
Y	JP, 1-93217, A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), April 12, 1989 (12. 04. 89), Refer to Claims (Family: none)	3, 5, 6, 8-18
Y	JP, 2-34038, A (Hitachi, Ltd.), February 5, 1990 (05. 02. 90), Refer to Claims (Family: none)	16-18, 33, 37
Y	P.M. Fenwick, The Computer Journal, Vol. 39, No. 9, 1996 p.731-740 "The Burrows-Wheeler Transform for Block Sorting Text Compression: Principles and Improvements" Refer to full text	7, 14, 17, 18, 22, 27, 31-33, 36, 37, 40, 43, 44

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

 Date of the actual completion of the international search  
 June 16, 1998 (16. 06. 98)

 Date of mailing of the international search report  
 June 30, 1998 (30. 06. 98)

 Name and mailing address of the ISA/  
 Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP98/01273

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	J. Ziv, A. Lempel, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. IT-23, No. 3, 1977 p.337-343 "A Universal Algorithm for Sequential Data Compression" Refer to full text	11, 18, 23, 25, 36, 37
Y	J. Ziv, A. Lempel, IEEE Transactions on Information Theory, Vol. IT-24, No. 5, 1978 p.530-536 "Compression of Individual Sequences via Variable-Rate Coding" Refer to full text	11, 18, 23, 25, 36, 37
Y	Electronics, MAR. 1996, p.52-53, Omusha Refer to full text	12, 18, 26, 36, 37
Y	JP, 8-146088, A (Teladain Inc.), June 7, 1996 (07. 06. 96), Refer to Claims & US, 5581177, A & DE, 4423186, A & GB, 2280963, A	19, 28-50
A	H. Yokoo, M. Takahashi, IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E79-A, No. 5 May 1996 p.681-686 "Data Compression by Context Sorting" Refer to full text	7, 14, 17, 18, 22, 27, 31-33, 36, 37, 40, 43, 44
A	JP, 61-107818, A (NEC Corp.), May 26, 1986 (26. 05. 86) & US, 4706265, A & EP, 180469, A	1-50
A	JP, 62-82723, A (Canon Inc.), April 16, 1987 (16. 04. 87) (Family: none)	1-50
A	JP, 62-98921, A (Canon Inc.), May 8, 1987 (08. 05. 87) (Family: none)	1-50
A	JP, 62-98919, A (Canon Inc.), May 8, 1987 (08. 05. 87) (Family: none)	1-50
A	JP, 61-107818, A (NEC Corp.), May 26, 1986 (26. 05. 86) (Family: none)	1-50
A	JP, 61-3569, A (Nippon Denki Kanji System K.K.), January 9, 1986 (09. 01. 86) (Family: none)	1-50

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P 98/01273

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.<sup>8</sup> H03M 7/40  
 Int. Cl.<sup>8</sup> H03M 7/46  
 Int. Cl.<sup>8</sup> G01R 31/3183

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.<sup>8</sup> H03M 7/40  
 Int. Cl.<sup>8</sup> H03M 7/46

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1998  
 日本国公開実用新案公報 1971-1998  
 日本国登録実用新案公報 1994-1998  
 日本国実用新案登録公報 1996-1998

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P. 62-118642, A (キャノン株式会社), 30. 5 月. 1987 (30. 05. 87), 第1図乃至第4図及び第12 図とその説明を参照。 (ファミリーなし)	1, 2, 4, 20, 21, 24,
Y		3, 5-19, 22, 23, 25-50
Y	J P. 1-93217, A (松下電器産業株式会社), 12. 4 月. 1989 (12. 04. 89), クレームを参照。 (ファミリーなし)	3, 5, 6, 8-18

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの  
 「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18. 06. 98

国際調査報告の発送日

30.06.98

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号 100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

阿部 弘

5K 9382

電話番号 03-3581-1101 内線 3558

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P, 2-34038, A (株式会社日立製作所), 05. 2月. 1990 (05. 02. 90), クレームを参照。 (ファミリーなし)	16-18, 33, 37
Y	P.M.Fenwick, The Computer Journal, Vol.39, No.9, 1996 p.731-740 "The Burrows-Wheeler Transform for Block Sorting T ext Compression: Principles and Improvements" 全文を参照。	7, 14, 17, 18, 22, 27, 31-33, 36, 37, 40, 43, 44
Y	J.Ziv, A.Lempel, IEEE Transactions on Information Theory, Vol.IT-23, No.3, 1977 p.337-343 "A Universal Algorithm for Sequential Data Compression" 全文を参照。	11, 18, 23, 25, 36, 37
Y	J.Ziv, A.Lempel, IEEE Transactions on Information Theory, Vol.IT-24, No.5, 1978 p.530-536 "Compression of Individual Sequences via Variable-Rate Coding" 全文を参照。	11, 18, 23, 25, 36, 37
Y	エレクトロニクス, MAR. 1996, p.52-53, オーム社 全文を参照。	12, 18, 26, 36, 37
Y	J P, 8-146088, A (テラダイン・インコーポレーテッ ド), 07. 6月. 1996 (07. 06. 96), クレームを参 照。 &US, 5581177, A &DE, 4423186, A &GB, 2280963, A	19, 28-50
A	H.Yokoo, M.Takahashi, IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E79-A, No.5 May 1996 p.681-686 "Data Compression by Context Sorting " 全文を参照。	7, 14, 17, 18, 22, 27, 31-33, 36, 37, 40, 43, 44
A	J P, 61-107818, A (日本電気株式会社), 26. 5 月. 1986 (26. 05. 86) &US, 4706265, A &EP, 180469, A	1-50
A	J P, 62-82723, A (キャノン株式会社), 16. 4月. 1987 (16. 04. 87) ファミリーなし	1-50
A	J P, 62-98921, A (キャノン株式会社), 08. 5月. 1987 (08. 05. 87) ファミリーなし	1-50
A	J P, 62-98919, A (キャノン株式会社), 08. 5月. 1987 (08. 05. 87) ファミリーなし	1-50
A	J P, 61-107818, A (日本電気株式会社), 26. 5月 . 1986 (26. 05. 86) ファミリーなし	1-50
A	J P, 61-3569, A (日本電気漢字システム株式会社), 09. 1月. 1986 (09. 01. 86) ファミリーなし	1-50